

30-0115/001

o. PROF. DR.-ING. KARL KORDINA - TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

Lehrstuhl für Massivbau - Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz

S c h l u ß b e r i c h t

zum Forschungsvorhaben

F.A. 15.026 R 75 H

Dauerhaftigkeit von Kunstharzen und Kunstharzmörteln
für die Sanierung von Massivbrücken

erstattet von

o. Prof. Dr.-Ing. K. Kordina

und

Dipl.-Ing. F. Blume

Oktober 1979

Postsendungen:
3300 Braunschweig, Beethovenstraße 52
Fernschreiber: 9 52 698 ibstb d

Fernsprecher:
391 2970
Ortskennzahl 05 31
Kommt keine Verbindung zustande
bitte 391 2281 wählen

Besuchszeiten:
Montag bis Freitag 9-18 Uhr

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Einleitung	3
2. Überblick	5
2.1. Aufgabenstellung.	5
2.2. Dauerhaftigkeit von Rißverpressungen	5
2.3. Dauerhaftigkeit von Ergänzungen durch Reaktionsharzmörtel	6
3. Allgemeine Bemerkungen zur Sanierung von Rißschäden	9
3.1. Schadenskriterien und Sanierungsziele	9
3.2. Chemische Zusammensetzung der Reaktionsharze und Auswahlkrite- rien für ihre Verwendung zur Rißsanierung	10
3.2.1. Allgemeines	10
3.2.2. Epoxidharze	10
3.2.3. ungesättigte Polyester	11
3.2.4. Auswahlkriterien für Injektionsharze	11
3.3. Verpreßtechnologien	12
4. Dauerhaftigkeit von Rißinjektionen im Kurzzeitversuch	14
4.1. Versuchsprogramm und -ziel	14
4.2. Versuchsbalken und Belastungseinrichtung	15
4.3. Gebrauchslast des Versuchsbalkens	16
4.4. Versuchsablauf und Belastungsgeschichte des Versuchsbalkens . .	16
4.4.1. Versuchsphase 1, 1967	16
4.4.2. Versuchsphase 2, 1976	17
4.5. Verpreßmethode	18
4.6. Auswahl des Injektionsharzes	18
4.7. Messungen und Meßwerte	18
4.8. Ergebnisse, Darstellung und Wertung	19
5. Dauerhaftigkeit von Rißinjektionen im Langzeitversuch	24
5.1. Versuchsprogramm und -ziel	24
5.2. Versuchsbalken	25
5.3. Rißerzeugung in den Balken L1 bis L8	26
5.4. Rißinjektion und Vorspannung	26
5.5. Langzeitversuche im Freien	28
5.5.1. Versuchsablauf	28
5.5.2. Ergebnisse der Langzeitversuche	29

	Seite
5.6. Dauerhaftigkeit gealterter RiBinjektionen unter Schwellbelastung und ihr Einfluß auf die Balkentragfähigkeit	33
5.6.1. Versuchsablauf	33
5.6.2. Ergebnisse	33
6. Haftfestigkeit von Reaktionsharzmörteln auf Zementbeton, Untersuchungen an Probekörpern	36
6.1. Ziel der Untersuchungen	36
6.2. Vorversuche an Probekörpern und Entwicklung von Prüfverfahren	36
6.3. Zusammensetzung und Prüfung der verwendeten Grundwerkstoffe	38
6.3.1. Zementbeton	38
6.3.2. Reaktionsharzmörtel	39
6.3.3. Ergebnisse der Werkstoffprüfungen	40
6.4. Einflüsse physikalischer Parameter auf Schubdruck- und Schubhaftfestigkeit	41
6.4.1. Allgemeines	41
6.4.2. Oberflächenbeschaffenheit	41
6.4.3. Feuchtegehalt des Zementbetons	42
6.4.4. Temperatur	43
6.4.5. Temperaturwechsel	45
6.4.5.1. Versuchsziel	45
6.4.5.2. Versuchskörper	45
6.4.5.3. Temperaturbelastung	46
6.4.5.4. Bruchversuch und Ergebnisse	46
6.4.6. Zusammenfassung der Ergebnisse	47
7. Dauerhaftigkeit von Reaktionsmörtelergänzungen auf Beton	49
7.1. Versuchsziel	49
7.2. Versuchsbalken	49
7.3. Versuchsdurchführung	51
7.4. Ergebnisse	52
8. Kriechversuche an Probekörpern aus Reaktionsharzmörteln	57
8.1. Allgemeines	57
8.2. Versuchsprogramm und -durchführung	57
8.3. Ergebnisse	58
9. Literaturverzeichnis	60
10. Bilder	62
11. Tabellen	103

Die Anlagen 1 bis 5 sind in einem gesonderten Band "Meßwerte" zusammengefaßt.

1. Einleitung

Zu den häufigsten Schäden an Massivbrücken zählen Betonfehlstellen und Risse. Zwar rufen solche Schäden in aller Regel keine Bruchgefahr hervor, doch besteht meist die Notwendigkeit einer frühzeitigen Sanierung, um die Dauerhaftigkeit des Bauteils sicherzustellen. Dies wird stets dann gegeben erscheinen, wenn Luft und Feuchtigkeit bis zur Bewehrung vordringen können, so daß Korrosionsgefahr besteht. Bereits bei zu geringer oder porenreicher Betondeckung oder bei Rißbreiten von $\sim 0,2$ mm wird. u. U. durch fortschreitende Karbonatisierung der oberflächennahen Bereiche bzw. der Rißflanken das aktiv rostschützende Milieu des Betons langfristig zerstört. Besondere Eile für die Sanierung ist dann geboten, wenn die Gefahr besteht, daß Wasser (Frost) und Tausalz in die schadhaften Bereiche eindringen können.

Naturgemäß ist zunächst anzustreben, durch Verwendung zementgebundener Materialien einen aktiven Korrosionsschutz wiederherzustellen. Eine Ergänzung von Betonfehlstellen mittels Beton oder Zementmörtel ist jedoch in der Regel nur dann sinnvoll, wenn die aufzubringende Schicht eine hinreichende Dicke (≥ 3 cm) aufweist. Zusätzlich bedarf es dabei einer besonders sorgfältigen Nachbehandlung, damit nicht durch Schwinden des Neubetons schon im jungen Alter eine Ablösung erfolgt. Bei statisch erforderlichen Querschnittsverstärkungen zur Wiederherstellung oder Erhöhung der Tragfähigkeit darf nach DIN 1045, u. a. wegen dieser Unsicherheit, eine Fugenhaftfestigkeit rechnerisch nicht in Ansatz gebracht werden. Schubkräfte in der Kontaktfuge sind vielmehr mittels entsprechender Bewehrung zu übertragen.

Eine Sanierung von Rißschäden durch Injektion von Zementmörtel kommt wegen dessen hoher Viskosität nur bei sehr breiten Rissen in Betracht. Im übrigen bestehen hinsichtlich des Schwindens die gleichen Gefahren wie bei der Ergänzung von Fehlstellen.

Aufgrund der genannten Schwierigkeiten erfolgt die Beseitigung von Rißschäden inzwischen nahezu ausnahmslos durch Injektion von Reaktionsharzsystemen, die sich wegen ihrer niedrigen Viskosität auch zum Verpressen von Rissen sehr geringer Rißbreiten eignen. Dabei gelangen unterschiedlichste Harze und Injektionsmethoden zur Anwendung. Für die Sanierung von Oberflächenschäden bzw.

zur Verfüllung von Fehlstellen werden vielfach mit Quarzsanden gemagerte Reaktionsharze, sogenannte Reaktionsharzmörtel, eingesetzt.

Bei der Aushärtung der Reaktionsharze, durch Vernetzung ihrer Molekülketten gehen sie mit dem angrenzenden Beton eine Adhäsionsbindung ein, die sich unter normalen Bedingungen durch hervorstechende Festigkeitseigenschaften auszeichnet. Die damit realisierbare Isolierung der Bewehrung gegenüber Umwelteinflüssen stellt einen guten passiven Korrosionsschutz dar. Allerdings beruhen die Kenntnisse über das Festigkeits- und Verformungsverhalten von Reaktionsharzen und Reaktionsharzmörteln vornehmlich auf Laborversuchen, wobei hauptsächlich Untersuchungen des Kurzzeitverhaltens erfolgten.

Über das Langzeitverhalten der Adhäsionsbindung Harz-Beton liegen hingegen nur wenige Versuchserfahrungen [19] vor. Die Tatsache, daß dennoch unbedenklich Reaktionsharze zur Sanierung verwendet wurden und werden, bedeutet, daß inzwischen generell davon ausgegangen wird, daß die Haftfestigkeit von Reaktionsharz auf Beton ebenso wie die Harze selbst keiner besonderen Alterung unterliegen. Die durch vielerlei praktische Anwendungen gewonnenen Erfahrungen bestätigen diese Annahme bisher. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, daß zeitabhängig zunehmende Verminderungen der Haftfestigkeit infolge von Umwelteinflüssen oder Dauerschwellbeanspruchungen erst langfristig zu Schädigungen führen.

Die vorliegende Arbeit sollte ein Beitrag dazu sein, durch Versuche an praxisnahen sanierten Bauteilen sowie an speziellen Probekörpern zur Klärung dieser Problematik beizutragen.

Die Durchführung des Forschungsvorhabens wurde vom Bundesministerium für Verkehr finanziell getragen. Die Versuchsdurchführung war Herrn Dipl.-Ing. D. Voigt übertragen. Nach Abschluß der Hauptversuche wurde Herr Dipl.-Ing. F. Blume mit der Auswertung der Versuchsdaten betraut.

2. Überblick

2.1. Aufgabenstellung

Die Dauerhaftigkeit der Adhäsionsbindung von Reaktionsharzen (RH) an Zementbeton (ZB) unter Langzeiteinwirkung von Umwelteinflüssen wie Temperatur- und Feuchtigkeitswechseln sowie von Dauer- und Dauerschwellbeanspruchungen sollte in Versuchen an Balken mit praxisnahen Abmessungen und an speziellen Probekörpern geprüft werden. Es war dabei insbesondere für die Sanierung von Massivbrücken, das Verhalten verpreßter Risse unter Gebrauchsbeanspruchung und das Tragverhalten von Bauteilen mit Ergänzungen aus Reaktionsharzmörteln zu untersuchen.

2.2. Dauerhaftigkeit von Rißverpressungen

Vor der Durchführung von Versuchen war es zunächst notwendig, die grundsätzlichen Anforderungen an Injektionsharze und Einpreßmethoden zur Erzielung zufriedenstellender Sanierungserfolge abzuklären. Hierüber wird in Abschnitt 3 berichtet. Es wird der derzeitige Stand der Verpreßtechnologie vorgetragen; verfahrensabhängige, signifikant unterschiedliche Sanierungserfolge sind, bei sachgerechter Ausführung nicht zu erwarten. Sofern deutlich unterschiedliche Sanierungserfolge auftreten, sind sie i. a. auf unzureichende Harzeigenschaften oder mangelnde Sorgfalt beim Verpressen zurückzuführen.

In Abschnitt 4 wird über Schwellversuche an einem durch RH-Injektion unter Gebrauchslast (vorh $\sigma_{BZ} = \text{zul } \sigma_{BZ}$) sanierten Spannbetonbalken vor und nach einer neunjährigen Lagerungsdauer im Freien berichtet. Weder durch Wetter- noch durch Schwelllasteinwirkung wurde die Haftung der beiden ausgewählten Reaktionsharzsysteme am Beton beeinträchtigt. Meßtechnisch beobachtete Tragverhaltensänderungen im Verlauf der Außenlagerung lassen sich im wesentlichen auf den Einfluß von Kriechen und Schwinden zurückführen. Durch das Verpressen unter Gebrauchslast ergab sich allerdings ein für die Klebefugen vergleichsweise günstiger Beanspruchungszustand, nämlich Dauer-Druckspannungen bei unbelastetem Versuchsbalken.

In Abschnitt 5 wird ein umfangreiches Langzeitversuchsprogramm an 10 vorgespannten Rechteckbalken beschrieben, das der weitergehenden Absicherung und Verallgemeinerung der in Abschnitt 4 im Einzelfall erzielten Ergebnisse dienen sollte. In acht dieser Balken wurden planmäßig Risse erzeugt. Danach wurden je zwei Balken mit einem von drei aus dem Markangebot ausgewählten Epoxidharzsystemen und je ein Balken mit einem von zwei ausgewählten ungesättigten Polyester-

harzsystemen verpreßt. Die Verpressung der Risse erfolgte hier ohne gleichzeitige Einwirkung der Gebrauchslast, so daß in den Haftpugen auch nach Vorspannung entsprechend der Balkenbeanspruchung Biegezugspannungen zu übertragen waren. Zwei ungerissene Balken dienten zu Vergleichszwecken.

Alle Balken wurden zunächst 15 Monate im Freien unter einer Dauerlast gelagert, die eine Biegezugspannung von ca. 75 % des bei beschränkter Vorspannung zulässigen Wertes bewirkte. Anschließend wurden sie einer Schwellast (50 000 Lastwechsel) ausgesetzt, deren Oberlast wiederum so gewählt war, daß ca. 75 % des zulässigen Wertes ausgenutzt wurde, während die Unterlast einen Ausnutzungsgrad von ca. 20 % der Betonbiegezugfestigkeit hervorrief. Abschließend wurde die Traglast aller Balken bestimmt.

In keinem der Untersuchungsabschnitte konnten signifikante, auf das Verpreßharz zurückzuführende Beeinträchtigungen des Trag- oder Verformungsverhaltens beobachtet werden. Alle Balken verhielten sich weitgehend affin zueinander. Erst beim Bruchversuch versagten einzelne verklebte Risse, wobei die Lasten bereits deutlich über der Gebrauchslast lagen. Durch Rißverpressung sanierte Balken erzielten mehrheitlich höhere Tragfähigkeiten als die Vergleichsbalken.

2.3. Dauerhaftigkeit von Ergänzungen durch Reaktionsharzmörtel

In Abschnitt 6 wird über ein Versuchsprogramm an besonderen Probekörpern zur Bestimmung der speziellen Auswirkungen physikalischer Randbedingungen auf die bei Ergänzung mit Reaktionsharzmörteln (RHM) besonders interessierende Schubhaft- und Schubdruckfestigkeit berichtet. Die Versuche wurden zum Teil mit vier unterschiedlichen RHM durchgeführt, von denen zwei ein EP-System und zwei ein UP-System als Bindemittel besaßen. Das Mischungsverhältnis Harz : Zuschlag wurde nach der Verarbeitbarkeit aufgrund von Vorversuchen zu 1 : 10 gewählt. Untersucht wurden die Auswirkungen folgender Parameter:

- Oberflächenbeschaffenheit der Kontaktfuge
- Feuchtegehalt des Betons und
- Temperatureinfluß

Es wurde experimentell nachgewiesen, daß die Haftfestigkeit von Reaktionsharzmörteln auf einer bruchrauen Betonoberfläche größer ist als auf einer durch Sandstrahlen vorbehandelten Fläche, da durch die Sandstrahlung die festigkeitssteigernde Verzahnung zwischen RHM und bruchrauer Betonoberfläche zum Teil aufgehoben wird. Ebenso zeigte sich mit einer Ausnahme eine deutliche

Abhängigkeit der Haftfestigkeit vom Feuchtegehalt der Kontaktflächen. Sie ist in der Regel bei mittlerer Feuchte nennenswert niedriger als bei trockener Oberfläche und sinkt bei sehr feuchtem Beton noch weiter ab. Zur Abschätzung des Temperatureinflusses auf die Haftfestigkeit von RHM am Beton wurden Probekörper nach einer siebentägigen Aushärtungsdauer bei 23 °C unter den Temperaturen - 10, + 23 und + 60 °C im Bruchversuch geprüft. Sie wiesen in gleicher Folge abnehmende Festigkeiten auf. Die festzustellenden Festigkeitsunterschiede bei den einzelnen RHM ließen sich dabei nicht auf unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten zurückführen. Bei der Untersuchung des Einflusses periodisch zwischen - 20 °C und + 40 °C wechselnder Temperaturen zeigte sich ein verstärkter Festigkeitsabfall bei polyesterharzgebundenen Mörteln. UP-Systeme scheinen demnach für eine Ergänzung von Betonbauteilen, die wechselnden Klimabedingungen ausgesetzt sind, vergleichsweise wenig geeignet zu sein. Alle parameterabhängigen Festigkeitsänderungen sind in Tabelle 17 zusammenfassend dargestellt.

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse von Labor-Probekörpern auf praxisnahe Bauteile wurden Versuche an Stahlbetonbalken mit einer zur Tragfähigkeitsvergrößerung nachträglich aufgebrachten RHM-Platte durchgeführt. Ein in entsprechender Form monolithisch hergestellter Plattenbalken diente zu Vergleichszwecken. Über diese Versuchsreihe wird in Abschnitt 7 berichtet. Untersucht wurde insbesondere der unterschiedliche Einfluß der Kontaktfugenvorbehandlungen "Sandstrahlen" und "Spitzen" auf Tragverhalten und Tragfähigkeit von mit EP-Mörteln ergänzten Balken sowie die Auswirkung einer die Haftfuge übergreifenden, auf den Betonsteg beidseitig aufgeklebten Aufhängebewehrung. Alle ergänzten Balken wurden einheitlich einer Schwellbelastung (100 000 Lastwechsel) mit $F^u \approx 0,6 \cdot F_{\text{Bruch}}$ und $F^o \approx 1,3 \cdot F_{\text{Bruch}}$ ausgesetzt, wobei F_{Bruch} nach der zuvor experimentell bestimmten Traglast des Vergleichsbalkens angenommen wurde. Abschließend wurde ihre Traglast im Bruchversuch bestimmt.

Alle Balken versagten durch einen Riß im Beton parallel zur Haftfuge. Die unterschiedliche Oberflächenbehandlung der Kontaktflächen vor Aufbringen des RHM hatte danach keine Auswirkungen auf die Tragfähigkeit. Eine Traglastminderung der ergänzten Balken gegenüber dem ohne vorhergehende Schwellastwirkung zu Bruch gefahrenen Vergleichsbalken war nicht oder nur in geringem Maße festzustellen. Sowohl bei den nachträglich ergänzten als auch bei den Vergleichsbalken konnte allerdings nicht die reine Haftfestigkeit wie an den Probekörpern nach Abschnitt 6 erreicht werden, da in der Haftfuge neben den Schubspannungen zusätzlich Zugspannungen senkrecht zur Fuge auftreten. Eine

"Aufhängebewehrung" führte erwartungsgemäß zu einer bedeutsamen Tragfähigkeitssteigerung.

Wie die Auswertung der Randdehnungsmessungen im Bereich der RHM-Platte zeigte, ergaben sich bei einem der beiden zur Ergänzung verwendeten RHM nach Abschluß der Schwellversuche erheblich größere bleibende Randstauchungen. Da bei starker Kriechneigung von RHM u. U. die Gefahr besteht, daß sich ursprünglich aufgenommene Lastanteile langfristig auf den steiferen angrenzenden Beton umlagern, scheiden solche RHM für statisch erforderliche Querschnittsergänzungen als Sanierungsmaterial aus. Da entsprechende allgemeingültige Erfahrungen z. Z. noch fehlen, ist vor Verwendung eines RHM demnach stets dessen Kriechverhalten zu prüfen und dem des zu ergänzenden Betons gegenüberzustellen.

In Abschnitt 8 wird über Kriechversuche an den zur Querschnittsergänzung verwendeten RHM berichtet. Wie erwartet wurden erhebliche Unterschiede im Kriechverhalten der beiden EP-Mörtel festgestellt. Im Vergleich zum Kriechverhalten eines hochwertigen Betons B 55 nach DIN 4227 ergaben sich nach einer Belastungsdauer von 100 Tagen bei einer Druckspannung von 20 N/mm^2 für den einen der untersuchten RHM ca. 5-fach größere Stauchungen, wonach dieser Mörtel für statisch erforderliche Querschnittsergänzungen mit Sicherheit unbrauchbar ist. Der andere untersuchte RHM wies hingegen geringere Kriechstauchungen als ein Beton B 55 nach DIN 4227 auf, was ihn für eine Sanierungsmaßnahme geeignet erscheinen läßt.

3. Allgemeine Bemerkungen zur Sanierung von Rißschäden

3.1. Schadenskriterien und Sanierungsziele

Risse in Betonbauteilen entstehen, sobald die Hauptzugspannungen, hervorgerufen durch Last-, Zwang- und Eigenspannungseinwirkungen die örtliche, stochastischer Gesetzmäßigkeit unterworfenen Betonzugfestigkeit erreichen. Das Auftreten von Rissen ist jedoch nicht in jedem Fall gleichbedeutend mit dem Vorhandensein eines Schadens.

Die Frage, ab welcher Rißbreite von einem Schadensfall zu sprechen ist, wird oftmals von Bauherren und bauausführender Seite unterschiedlich beurteilt. Aus ästhetischen Gründen (Sichtbeton) oder nutzungsbedingten Gründen (Dichtigkeit bei Behältern) können z. B. bereits geringste Rißbreiten als Schaden empfunden werden. Sie lassen sich nur durch Vorspannung des Betons weitestgehend ausschalten. Bei Stahlbetonbauteilen muß in der Regel die Entstehung von Rissen in Kauf genommen werden, dabei ist allerdings stets die Rißbreite so zu beschränken, daß die Dauerhaftigkeit des Bauteils nicht vermindert wird. Das Maß der noch zulässigen Rißbreite ist abhängig von den Umweltbedingungen, denen das Bauteil im Verlauf seiner beabsichtigten Nutzungsdauer ausgesetzt ist. Im Innern eines Hauses sind beispielsweise andere Maßstäbe anzulegen als im Freien; bei Stahlbetonbauteilen i. a. andere als bei Spannbetonbauteilen.

Rißschäden lassen sich nur bei besonders sorgfältiger Bemessung und Konstruktion in Kenntnis aller möglichen Lastfälle vermeiden. Da die Eigengewichts- und Nutzlasten hinreichend genau bekannt sind bzw. nach den DIN-Vorschriften vergleichsweise hoch angesetzt werden, kommen Lastschnittgrößen nur in seltenen Fällen als Rißursache in Betracht. Anders liegen die Verhältnisse bei Zwangsschnittgrößen und Eigenspannungen, die oftmals nur abgeschätzt werden können.

Ziel einer Rißsanierung durch Injektion von Reaktionsharzen ist vornehmlich die Wiederherstellung eines notwendigen - wenn auch nur passiven - Korrosionsschutzes der Bewehrung. Dazu ist es erforderlich, daß das Verpreßmaterial eine hohe Haftfestigkeit am Beton entwickelt und zudem hinreichend elastisch ist, nach der Sanierung allen Rißuferbewegungen zu folgen. Daneben kann u. U. angestrebt werden, die infolge Rißbildung örtlich ausgefallene Betonzugfestig-

keit durch Verpressung mit einem entsprechend modifizierten Harz so weit wie möglich zu reaktivieren, z. B. um die Schwellbeanspruchung den Riß kreuzender Bewehrung zu vermindern.

Aufwendige Sanierungsarbeiten sind nur dann als sinnvoll anzusehen, wenn eine gewisse Sicherheit hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Adhäsionsbindung Harz-Beton für alle bekannten Beanspruchungen nach der Sanierung zu erwarten ist. So können z. B. durch Auftreten von Spannungen oberhalb der Zugfestigkeit des Betons die Adhäsionsbindung Harz-Beton wieder gesprengt oder in Nachbarzonen weitere Betonrisse hervorgerufen werden. In solchen Fällen könnte die Entstehung neuer Risse durch ein dauerplastisches Verpreßmaterial behindert werden, das ausschließlich zur Rißabdichtung, nicht jedoch zur Zugkraftübertragung dient.

3.2. Chemische Zusammensetzung der Reaktionsharze und Auswahlkriterien für ihre Verwendung zur Rißsanierung

3.2.1. Allgemeines

Als Verpreßmaterial kommen vornehmlich die Reaktionsharze Epoxidharz (EP) und ungesättigte Polyester (UP) in Frage. Unter diesen globalen Bezeichnungen ist eine Vielzahl von Produkten auf dem Markt, die sich jedoch in ihrem Aussehen und ihrem physikalischen und chemischen Verhalten zum Teil signifikant unterscheiden.

3.2.2. Epoxidharze

Epoxidharze sind Vernetzungsprodukte, die durch Reaktion von Epichlorhydrin mit aromatischen Dioxyverbindungen (gewöhnlich Dian) entstehen. Dazu ist die Anwesenheit von Alkali notwendig. Das zähflüssige Gießharz besteht aus Kettenmolekülen mit Epoxyendgruppen und wird durch Hinzufügen eines Härters in Form einer Polyaddition zum Duroplast vernetzt [5].

Als Härtungsmittel können praktisch alle mit Epoxygruppen reagierenden mindestens bifunktionellen Verbindungen eingesetzt werden, z. B. Polyalkohole, Polyphenole, Polykarbonsäuren, Anhydride, Amide, Amine, Polyisocyanate, Phenoplaste usw. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Kalthärtung ($\sim 20^{\circ}\text{C}$)

und Hitzehärtung (120 - 220 °C). Während die Kalthärtung in der Regel mit mehrwertigen Aminen als Härtungsmittel erfolgt, wird die Hitzehärtung gewöhnlich durch Vernetzung mit Dicarbonsäuren durchgeführt.

3.2.3. ungesättigte Polyester

Die ungesättigten Polyester sind meist Mischkondensate von gesättigten und ungesättigten Dicarbonsäuren (Maleinsäure) mit zweiwertigen Alkoholen, die in einer polymerisierbaren Vinylverbindung, meist Styrol, gelöst sind. Der Styrolgehalt ist gewöhnlich < 40 % [5].

Die Aushärtung erfolgt nach Zusatz eines Peroxid-Katalysators durch eine Pfropf- bzw. Copolymerisation des Styrols mit dem ungesättigten Polyester, wobei Gelierung und schließlich Aushärtung eintritt. Dabei entsteht ein räumliches Molekülnetz aus Polyesterketten und Polystyrolketten.

Als Katalysatoren oder Härter werden hauptsächlich eingesetzt:

Benzoylperoxid = BP-Härter als Pulver oder

Paste mit 50 % Phtalatweichmacher

Methyläthylenketonperoxid = MEK od. MEKP (flüssig)

mit 50 % Dimethylphtalat.

Die Hitzehärtung wird durch Erwärmen auf 80 - 100 °C ausgelöst. Eine Kalthärtung wird durch Zusatz eines Beschleunigers in Gang gesetzt, und zwar durch

Metallseifen wie Co-, Cu- und Mn-Naphtalat in

Kombination mit MEK-Härter

oder

Tertiäre Amine in Kombination mit BP-Härter.

3.2.4. Auswahlkriterien für Injektionsharze

Zur Sanierung von Betonbauteilen sind naturgemäß nur solche Reaktionsharzsysteme zu verwenden, deren Beständigkeit nicht durch das chemische Verhalten des Betons gefährdet ist. Dies muß vornehmlich beachtet werden beim Einsatz ungesättigter Polyesterharze, die oftmals nicht hinreichend alkalibeständig sind.

Besonders geeignet sind Harzsysteme mit niedriger Viskosität, da bei ihrer Verwendung weitestgehend sichergestellt ist, daß auch fein verästelte Risse geschlossen werden. Dabei ist wesentlich, daß die Harze die Rißufer gleichmäßig benetzen und ohne größeren Schwund aushärten. Andernfalls besteht die Gefahr, daß unter äußeren Lasten Spannungsspitzen an der Haftfuge Harz-Beton entstehen, die neue Risse bei geringeren Lasten als im ursprünglichen Zustand zur Folge haben können.

Durch starken Volumenschwund beim Vernetzen des Harzes, welches durch die gleichlaufend aufgebaute Adhäsionsbindung behindert wird, können auch Eigenspannungen im Harz in solcher Größe auftreten, daß die Haftfestigkeit nahezu aufgezehrt wird. Diese Gefahr besteht jedoch eher bei glatten Oberflächen. Wegen der bei rauhen Rißoberflächen vorhandenen mechanischen Verankerung des Harzes können Schwundspannungen vergleichsweise gut aufgenommen werden.

Injektionsharze für Bauteile im Freien müssen weitestgehend feuchtigkeitsresistent sein. Sie sollten sich auch noch bei niedrigen Temperaturen, etwa $\geq 5^{\circ}\text{C}$ verarbeiten lassen. Damit würden sie etwa den gleichen Witterungsbedingungen für ihren Einbau unterliegen wie der Beton.

Die Topfzeit, die Zeit zwischen Mischung der Harzkomponenten und dem Beginn des Vernetzungsprozesses, muß hinreichend lang sein, damit genügend Zeit verbleibt, auch Risse großer Tiefe zu verpressen.

3.3. Verpreßtechnologien

Das Einpressen des Harzes in die Risse erfolgt in der Regel mittels motorisch oder manuell betriebener Druckpumpen und Druckschläuchen, welche auf Ansatzstücke aufgesetzt werden, die das Harz in die Risse hineinleiten. Als Ansatzstücke werden Drucknippel, Fittings oder einfache Zwischenringe aus Gummi verwendet. Sie werden auf die Risse aufgeklebt oder auf in Bohrlöchern versenkte Rohrstücke aufgeschraubt. Neben den Ansatzstücken werden je nach Rißbreite in Abständen von ca. 30 cm bis 100 cm verschließbare Entlüftungsröhrchen angeordnet. Die übrige Rißfläche wird mit einem Reaktionsharzspachtel oder in einigen Fällen mit Zementschnellbinder abgedichtet. Einige Verpreßfirmen verwenden auch Plastikschläuche geringen Durchmessers als Ansatzstücke, die im Verdämmungsmaterial unmittelbar auf den zu verpressenden Rissen befestigt werden.

Die Komponenten der Reaktionsharze werden entweder vorher gemischt und anschließend eingepreßt oder erst unmittelbar vor dem Ansatzstück in einem Mischkopf gemischt. Die letztere Methode bietet den Vorteil, daß kontinuierlich verpreßt werden kann. Allerdings ist eine Kontrolle des Mischungsverhältnisses und der eingepreßten Harzmenge u. U. schwierig.

Die unterschiedlichen Verarbeitungsdrücke zwischen ca. 2 und 50 bar, die zu den einzelnen Injektionsverfahren angegeben werden, gelten nur bis zur Einpreßöffnung. Danach werden sie im Riß schnell abgebaut. Der effektive Druck im Riß ist abhängig von der Fließgeschwindigkeit des Harzes und diese wiederum von der Breite der zu verpressenden Risse. Wesentlich ist, daß bei Injektionsverfahren, die mit hohen Drücken arbeiten, eine vergleichsweise hohe Haftfestigkeit des Verdämmungsmaterials am Beton notwendig ist, da sie in unmittelbarer Nähe der Einpreßöffnungen einer hohen Beanspruchung standhalten muß. Diese Haftfestigkeit bereitet oftmals später Schwierigkeiten, wenn die Verdämmung nach Abschluß der Verpreßarbeiten auf mechanischem Wege zu beseitigen ist.

Wie zahlreiche Bohrkernentnahmen nach von Fachfirmen durchgeführten Rißsanierungen ergaben, haben die geschilderten Unterschiede der Technologien bei sachgerechter Ausführung der Arbeiten keinen wesentlichen Einfluß auf die Güte der Verpressungen. Sofern deutlich unterschiedliche Sanierungserfolge auftraten, waren sie i. a. auf unzureichende Harzeigenschaften oder mangelnde Sorgfalt beim Verpressen zurückzuführen.

4. Dauerhaftigkeit von Rißinjektionen im Kurzzeitversuch

4.1. Versuchsprogramm und -ziel

Die Untersuchung wurde an einem 9 Jahre alten Spannbetonbalken (K1) durchgeführt, der im Rahmen einer Versuchsserie mit der Zielsetzung hergestellt worden war, die Beständigkeit von Rißinjektionen gegenüber Schwellbeanspruchungen für ein ausgewähltes Reaktionsharzsystem zu prüfen.

Durch planmäßige Überlastung wurden seinerzeit im Balken Risse erzeugt, die unter Einwirkung der Gebrauchslast mit dem EP-Harz "Krautoxin 1471" verpreßt wurden. Die Gebrauchslast war so definiert, daß der Balken eine rechnerische Sicherheit von $\nu \geq 1,75$ gegenüber dem Eintreten des Bruchzustandes aufwies und zusätzlich die für beschränkt vorgespannte Bauteile nach DIN 4227 zulässige Biegezugspannung nicht überschritten wurde.

Als Oberlast der nach hinreichender Aushärtungsdauer des Injektionsharzes (7 Tage) aufgebrachten Schwellbeanspruchung wurde die Gebrauchslast $\text{zul } F$ und als Unterlast $0,4 \cdot \text{zul } F$ gewählt. Damit war der Schwellbereich vergleichsweise günstig festgelegt, da erst unter Lasten $F > \text{zul } F$ infolge der Beteiligung des Reaktionsharzes an der Zugkraftübertragung u. U. mit weiteren Rissen zu rechnen war.

Im Verlauf der Belastungsgeschichte, der der Balken seinerzeit unterworfen wurde (vgl. Abschnitt 4.4), zeigten sich keinerlei nachteilige Auswirkungen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Adhäsionsbindung zwischen Reaktionsharz und Beton. Nach Durchführung der Schwellversuche ("Versuchsphase 1"), wurde der Balken unbelastet im Freien gelagert, um an ihm das Verhalten injizierter Risse unter Einfluß wetterbedingter Temperatur- und Feuchtigkeitswechsel über einen längeren Zeitraum zu beobachten.

Nachdem im Verlaufe einer 9-jährigen Lagerung augenscheinlich keine Schäden aufgetreten waren, wurde in einer "Versuchsphase 2" geprüft, ob sich bei neuerlichem Aufbringen der Gebrauchslast oder unter einer nochmaligen Schwellbeanspruchung die zwischenzeitlich der Alterung ausgesetzten Rißinjektionen weiterhin als dauerhaft erweisen bzw. ob sich nun als Folge der Außenlagerung Schäden im Balken zeigen.

Da sich die Vorspannkraft unter dem Einfluß von Kriechen und Schwinden des Betons im Laufe der Zeit vermindert hatte, war in "Versuchsphase 2" bei gleichen Lasten wie neun Jahre zuvor von höheren resultierenden Beanspruchungen aus Nutzlast und Vorspannung auszugehen. Somit war zu erwarten, daß unter Last möglicherweise neue Risse im Beton auftreten oder daß sich zumindest - wegen ihrer geringen Rißbreite - seinerzeit unverpreßt gebliebene Risse aufweiten würden. Nach Verpressung der evtl. hinzugekommenen Risse war geplant, unter Gebrauchs- und Schwellast erneut zu prüfen, ob mit der gewählten Verpreßmethode ähnliche Ergebnisse wie in "Versuchsphase 1" erreichbar sind.

Um sicherzustellen, daß der Balken keine durch die Lagerung im Freien entstandenen, äußerlich nicht feststellbaren Schädigungen aufwies, sollte in einem abschließenden Bruchversuch die Traglast ermittelt und dem theoretisch-rechnerischen Wert gegenübergestellt werden. Diese Bestätigung erschien notwendig, um die bei der Versuchsdurchführung gewonnenen Ergebnisse auf ähnliche andere Sanierungsmaßnahmen übertragen zu können. Es wurde auch für erforderlich erachtet, die Güte der durchgeführten Verpreßarbeiten durch Entnahme von Bohrkernen im Bereich injizierter Risse nach Abschluß aller Teilversuche zu überprüfen.

Aus den Versuchsergebnissen an dem gealterten Balken sollten insgesamt Aussagen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit von Rißinjektionen in ähnlich gelagerten Fällen ermöglicht werden.

4.2. Versuchsbalken und Belastungseinrichtung

Abmessungen und Bewehrung des Versuchsbalkens K1 sind ebenso wie die Bewehrungsführung aus Bild 1 zu ersehen. Mit einer Balkendicke von $d = 0,50$ m war ein für Brückenbauteile wirklichkeitsnahes Maß gewählt worden; üblichen Vorspanngraden von $\sigma_{bv} = 2 \div 4 \text{ N/mm}^2$ gemäß wurde bei einer Balkenbreite $b = 0,60$ m eine Vorspannkraft von 600 kN mittels zweier parabolisch geführter Spannstähle $\varnothing 26$, St 835/1030, aufgebracht. Die Spannstähle lagen in Hüllrohren, welche nach dem Vorspannen der Stähle gegen den erhärteten Beton mit einem Zementmörtel verpreßt wurden. Als Schlaffstahlarмирование kam BSt 420/500 R zur Anwendung.

Es wurde eine Betongüte B 40 (früher B 450) angestrebt. Die parallel zum Betonieren des Versuchsbalkens hergestellten Probekörper wiesen in Abhängigkeit vom Betonalter folgende Festigkeiten auf:

Tage	$\beta_{ws,20}$ N/mm ²	$\beta_{BZ,10/15/70}$ N/mm ²
10	41,0	4,6
35	52,4	5,1

Bereits nach 10 Tagen lag danach die Druckfestigkeit über der angestrebten Nennfestigkeit.

Versuchsaufbau und Belastungseinrichtung sind in Bild 2 dargestellt. Die Belastung erfolgte mittels hydraulischer Pressen an den Balkenenden.

4.3. Gebrauchslast des Versuchsbalkens

Unter Zugrundelegung einer Betongüte B 40 (früher B 450) ergibt sich mit der gewählten Schlaff- und Spannstahlarmierung auf der Grundlage von DIN 4227 ein Bruchmoment von $M_u \approx 460$ kNm. Bei einem Eigengewichtsanteil von $M_g \approx 10$ kNm war somit bei dem gewählten statischen System zu erwarten, daß eine Pressenlast von jeweils maximal $F_u \approx 320$ kN getragen werden kann. Maßgebend für die Festlegung der Gebrauchslast war im vorliegenden Fall jedoch die Einhaltung der zulässigen Randzugspannung. Danach wurde die Gebrauchslast zu $zul F = 170$ kN je Presse mit $zul M_F = 238$ kNm gewählt. Die hierdurch geweckte Beanspruchung für Zustand I von $\sigma_{bz} \sim 3,0$ N/mm² vergrößerte sich infolge von Kriechen und Schwinden bzw. durch die entsprechende Minderung der Vorspannkraft bei neuerlicher Belastung nach der Lagerung im Freien auf $\sigma_{bz} \sim 4$ N/mm². Zwar lag sie damit nunmehr über dem zulässigen Wert; sie erreichte jedoch nicht die an Vergleichskörpern (s. oben) beobachtete Biegezugfestigkeit, so daß noch keine besondere Rißgefahr bestand.

4.4. Versuchsablauf und Belastungsgeschichte des Versuchsbalkens

4.4.1. Versuchsphase 1, 1967

Nach fünftägiger Erhärtingszeit in feucht gehaltenem Zustand wurde der Balken vorgespannt und anschließend die Hüllrohre mit Zementmörtel verpreßt. Nach weiterer neuntägiger Lagerungsdauer unter Raumklima wurde folgendes Versuchsprogramm abgewickelt:

- Stufenweise Belastung bis zur Gebrauchslast $zul F = 170$ kN
- Schwellbelastung: 10.000 Lastwechsel zwischen $F^u = 0,4 \cdot zul F$ und $F^o = 1,0 \cdot zul F$
- Planmäßige Rißerzeugung durch kurzzeitige Belastung bis zu $F \approx 2,1 \cdot zul F$. Dabei ergab sich eine maximale Rißklaffung von 1,4 mm, die sich bei Entlastung auf 0,8 mm verringerte.

- Schwellbelastung: 10.000 Lastwechsel wie vor
- Stufenweise Belastung bis zur Gebrauchslast
- Abdichtung der Rißränder von neun zu verpressenden Rissen mit einer Masse aus Quarzmehl und Epoxidharz sowie anschließende Verpressung der Risse mit dem EP-Harz "Krautoxin 1471"
- Entlastung und stufenweise Wiederbelastung bis zu F
- Schwellbelastung: 300.000 Lastwechsel

Abschließend wurde der Balken unbelastet und ungeschützt für die Dauer von ca. 9 Jahren der Witterung ausgesetzt.

4.4.2. Versuchsphase 2, 1976

Im Jahre 1976 wurden die Versuche wieder aufgenommen. Unter Raumklima wurde folgendes Versuchsprogramm abgewickelt:

- Stufenweise Wiederbelastung auf F
- Schwellbelastung: 100.000 Lastwechsel zwischen $F^u = 0,4 \text{ zul } F$ und $F^o = 1,0 \text{ zul } F$
- Verpressung von fünf früher nicht verpreßten und durch die Neubelastung aufgeweiteten Rissen mit einem anderen Epoxidharz (vgl. Abschnitt 4.6). Das dabei verwendete Verpreßverfahren wird in Abschnitt 4.5 näher beschrieben.
- Nach 7-tägiger Aushärtungsdauer: Schwellbelastung mit 50.000 Lastwechseln wie vor.

Zum Abschluß des Versuchs wurde die Balkenbelastung stufenweise bis zur Bruchlast gesteigert. Diese galt als erreicht, sobald keine weitere Laststeigerung möglich war und die Pressenkräfte abfielen. Im vorliegenden Falle ergab sie sich zu 346 kN je Presse. Dies entspricht einem Bruchmoment von

$$M_u = 1,4 \cdot 346 + 9,6 = 494 \text{ kNm} \approx 460 \text{ kNm} = M_u^{\text{rechn.}}$$

Somit besteht gute Übereinstimmung mit dem rechnerisch bestimmten Wert.

4.5. Verpreßmethode

Nach Sichtung der in Abschnitt 3.2.5 näher beschriebenen unterschiedlichen Verpreßtechnologien wurde für das Verpressen der Risse im Balken K1 folgendes Verfahren gewählt:

An den zu verpressenden Rissen wird die Betonoberfläche sorgfältig mechanisch gereinigt und durch Anschleifen aufgeraut. Anschließend werden Fittings (3/8") auf beiden Balkenseiten an den gegenüberliegenden Rißenden aufgeklebt. Sie dienen zur Rißentlüftung. An der Unterseite des Balkens wird ebenfalls ein Fitting aufgeklebt. Er erhält eine einschraubbare Druckkupplung, sie dient zum Ansetzen der Injektionspumpe.

Die restliche freie Rißlänge wird anschließend oberflächlich verspachtelt. Dazu wird eine Mischung aus Injektionsharz und Quarzmehl ($\sim 1 - 2 \%$) verwendet. Nach einer Aushärtungsdauer der Spachtelmasse von 24 Stunden wird das Harzsystem nach vorhergehender Mischung der Komponenten (gemäß Herstellerempfehlung) mittels einer mechanischen Handpumpe durch den Injektionsf fitting an der Balkenunterseite eingepreßt. Nach Austritt des Injektionsharzes aus den Entlüftungsstücken werden diese mit einem Gewindestopfen verschlossen und der Druck durch weiteres Pumpen kurzfristig gesteigert. Durch das Schließen der Druckkupplung nach dem Lösen der Injektionspumpe bleibt der erzeugte Druck auch anschließend erhalten, so daß eine gleichmäßige Verteilung des Harzes im Riß gewährleistet ist.

4.6. Auswahl des Injektionsharzes

Als Injektionsharz wurde das niedrig viskose EP-Harz-System Araldit By 156 mit Härter Hy 2996 (CIBA, Schweiz) gewählt, welches vom Hersteller speziell für diesen Zweck empfohlen wird. Mischungsverhältnis Harz-Härter sowie weitere Angaben sind in Tabelle 3 angegeben. Sie sind Herstellerprospekten entnommen und wurden zum Teil durch eigene Untersuchungen überprüft.

4.7. Messungen und Meßwerte

Zu allen Zwischenlaststufen wurden im Verlauf der gesamten Belastungsgeschichte Längenänderungen am Biegezugrand gemessen. In "Versuchsphase 2" wurde zusätzlich die Durchbiegung des Versuchskörpers beobachtet.

Die Messung der Randdehnungen erfolgte mittels eines Setzdehnungsmessers der Meßlänge 10 cm. Dabei wurden die Meßwerte im Jahre 1967 von einer geeichten Meßuhr abgelesen und manuell aufgezeichnet. 1976 erfolgte die Messung mit einem Setzdehnungsmesser, der mit einem induktiven Geber ausgerüstet war, wobei das Gebersignal von einer 5 kHz-Meßbrücke verstärkt wurde. Das Ausgangssignal dieser Brücke wird mit einem Digitalvoltmeter verarbeitet, welches direkt an einen Drucker angeschlossen ist.

Die Lage der Meßketten ist aus Bild 2 zu ersehen. Alle Einzelmeßwerte sind in Anlage 1, Tabelle 1.1, zusammenfassend dargestellt.

Die im Verlauf von "Versuchsphase 2" durchgeführte Verformungsmessung erfolgte mittels Meßuhren, deren Anordnung gleichfalls aus Bild 2 zu ersehen ist. Die Meßwerte sind in Anlage 1, Tabelle 1.2, angegeben.

4.8. Ergebnisse, Darstellung und Wertung

Wie bereits bei der Versuchsdurchführung im Jahre 1967 so konnte auch neun Jahre später festgestellt werden, daß sich kein verpreßter Riß unter Gebrauchslast oder anschließender Schwellbeanspruchung öffnete. Ebenso konnte an den neu verpreßten Rissen keine Schädigung infolge der Schwellbeanspruchung mit $F^O = \text{zul } F$ und $F^U = 0,4 \cdot \text{zul } F$ festgestellt werden. Selbst bei dem abschließend durchgeführten Bruchversuch, bei welchem unter Laststufen oberhalb der Gebrauchslast zusehends neue Risse auftraten, konnte ein primäres Versagen verpreßter Risse nicht beobachtet werden. Somit ist die Feststellung gerechtfertigt, daß sowohl die gealterten als auch die vergleichsweise jungen Rißverpressungen jeweils eine höhere Festigkeit aufwiesen als die Biegezugfestigkeit des Betons. Gleichzeitig wird bestätigt, daß sowohl das in "Versuchsphase 2" angewendete Injektionsverfahren als auch das gewählte EP-Harz geeignet waren, zumindest im Kurzzeitversuch einwandfreie, von der Belastungsart unabhängige Ergebnisse zu erzielen.

Dieses auf der Balkenoberfläche feststellbare Ergebnis wurde durch die zur Überprüfung der Verpreßqualität durchgeführte Entnahme von acht Bohrkernen zusätzlich bestätigt. In keinem Fall konnten Bohrkernspaltungen an sanierten Rissen festgestellt werden. Innerhalb der verpreßten Rißbereiche waren keine Lunkerstellen zu beobachten, was insgesamt auf eine vollfugige gute Rißverfüllung mit EP-Harz schließen läßt.

In Bild 3 ist für die Beobachtungszeitpunkte

- Erstbelastung
- Rißerzeugung
- vor Auslagerung
- nach Auslagerung
- nach 100 000 Lastwechseln
- nach Verpressung
- beim Bruchversuch (nach 50 000 Lastwechseln)

der Mittelwert aus den Längenänderungen beider Meßketten auf der Biegezugseite des Balkens in Abhängigkeit von der Belastung grafisch dargestellt. Daneben sind die für Gebrauchslast rechnerisch ermittelten Randfaserverlängerungen mit und ohne Ansatz einer Betonzugfestigkeit, d. h. im Zustand I und Zustand II angegeben. Hieraus läßt sich das Tragverhalten des sanierten Balkens K1 ableiten:

Im ursprünglichen, ungerissenen Zustand verhält sich der Balken bis zu einer Pressenlast von ca. 120 kN entsprechend dem theoretischen Zustand I. Bei dem gewählten Vorspanngrad ergibt sich unter dieser Last auf der Biegezugseite gerade die Randspannung $\sigma_{bR} = 0$. Bereits oberhalb dieser Last geht der Balken - vermutlich durch Aufweitung vorhandener Mikrorisse - allmählich in den Zustand II über. Durch die bei Laststeigerung über die Gebrauchslast (~ 170 kN) entstehenden Biegezugrisse wächst die Randfaserdehnung deutlich schneller an. Durch weitere Laststeigerung bis zu $F = 2,1 \cdot \text{zul } F$ erreicht der Stahl (St 835/1030) die Fließgrenze. Dabei wird er plastisch überdehnt, wodurch sich naturgemäß im Maße der plastischen Verlängerung ein entsprechender Spannkraftverlust einstellt. Dennoch verhält sich der Balken nach anschließender Verpressung der Risse unter Gebrauchslast bei dieser Last nahezu wie bei der Erstbelastung. Zur Verdeutlichung dieses Sachverhalts wurden alle Meßergebnisse nach dem Verpressen auf die unmittelbar im Anschluß an die Verpreßarbeiten im unbelasteten Zustand beobachteten Werte bezogen und so der plastische Dehnungsanteil eliminiert.

Offenbar ist durch die Rißverpressung unter Gebrauchslast die durch Überdehnung des Spannstahls verlorene Vorspannung größtenteils wiedergewonnen worden. Durch das Injektionsharz wurden die Risse verkeilt und so die Entspannung der elastischen Stahldehnung aus Gebrauchslast behindert. Im Maße dieser verbliebenen Dehnung wurde dabei der Balken zusätzlich unter Vorspannung gesetzt.

Auch nach neunjähriger Lagerungsdauer verhielt sich der Balken bis zu einer Last von 120 kN ähnlich wie im ursprünglichen ungeschädigten Zustand. Bei höheren Lasten zeigte sich jedoch ein deutlicher Unterschied im Tragverhalten: Im Vergleich zum Beobachtungszeitpunkt vor der Auslagerung ergab sich unter Gebrauchslast bereits eine um ca. 60 % erhöhte Längenänderung der Meßketten am Biegezugrand. Die Erklärung hierfür ist vornehmlich im Einfluß von Kriechen und Schwinden bzw. im so bedingten Verlust an Druckvorspannung des Balkens zu suchen:

Zum Zeitpunkt des Verpressens in "Versuchsphase 1" befand sich der Balken infolge der vorausgehenden Stahlüberdehnungen weitgehend im Zustand II. Da der Balken unter Gebrauchslast verpreßt wurde, war das Reaktionsharz in diesem Zustand dehnungsfrei und beteiligte sich insofern nicht an der Zugkraftübertragung über die Risse, d. h. der innere Kräftezustand entsprechend Zustand II wurde durch die Sanierung nicht verändert. Im Verlauf der Lagerung im Freien verminderte sich jedoch infolge Schwindens und Kriechens nach überschläglicher Berechnung die Vorspannkraft auf $Z_v \approx 0,8 Z_{v,t=0}$. Aus Bild 4 ist zu ersehen, daß dies im Zustand II theoretisch mit einer Dehnungszunahme am Biegezugrand von ca. 53 % verbunden ist. Hierbei ist jedoch noch unterstellt, daß zum Abschluß von "Versuchsphase 1" die gesamte ursprüngliche Vorspannkraft wirkte, was nach der bereits erwähnten Überdehnung zumindest in den Rissen sicher nicht der Fall war. Durch Kriechen und Schwinden des Betons und des Harzes wurde die anfänglich aufgetretene Vorspannwirkung der Rißverkeilung durch Kunstharzinjektion sicher ebenfalls teilweise abgebaut, so daß sie später unter Gebrauchslast nicht mehr wirksam war. Unterstellt man eine Vorspannkraftminderung von ca. 20 % infolge Überdehnung der Bewehrung, so ergibt sich nach weiteren 20 % Spannkraftverlust durch Kriechen und Schwinden im Vergleich zum Zeitpunkt $t = 0$ theoretisch eine um 109 % größere Randdehnung im Bereich des Maximalmoments (Bild 4). Auch unter Berücksichtigung der Tatsache, daß naturgemäß kein vollständiger Übergang zu Zustand II erfolgte, da der Beton zwischen den Rissen stets zum Teil mitwirkt, erscheint dieses Maß zur Erklärung der im Versuch beobachteten Dehnungszunahme am Biegezugrand von 60 % (Bild 3) hinreichend, zumal im vorliegenden Fall die bei der Rißerzeugung verursachte Überdehnung sicher auch eine deutliche Beeinträchtigung der Verbundfestigkeit verursacht hatte.

Die zu Beginn von "Versuchsphase 2" aufgebrachte Schwellbelastung bewirkte im Bereich neben den aufgeweiteten Rissen zusätzliche Verbundnachgiebigkeit, wodurch sich die freie Dehnlänge des Stahles vergrößerte und die BauteilstEIFigkeit

weiter verminderte. Hierdurch sowie durch das nicht elastische Betonverhalten unter den im gerissenen Zustand vergleichsweise höheren Randspannungen ergab sich eine weitere Zunahme der Randdehnung im Vergleich zu früheren Beobachtungszeitpunkten mit gleichgroßer Belastung.

Nach der Entlastung gingen die Dehnungen nicht auf ihren Ausgangswert zurück. Auch dies hing sicher mit Verspannungen zwischen Beton und Bewehrungsstahl sowie mit dem nicht elastischen Betonverhalten zusammen. Außerdem setzten sich vermutlich kleine Betonbruchstücke zwischen die Rißufer der nicht verpreßten Risse und verhinderten eine vollständige Rückkehr in die Ausgangslage.

Da eine sichere Abdichtung der Risse in "Versuchsphase 2" für die Verpreßarbeiten durch die Anwesenheit der Setzdehnungsmeßpunkte in Frage gestellt war, wurden diese entfernt und nach Abschluß der Verpreßarbeiten neu aufgeklebt. Somit war eine Beobachtung der Veränderung des Absolutwertes der Längenänderungen infolge der neuerlichen Rißverpressung nicht unmittelbar möglich. Näherungsweise kann jedoch davon ausgegangen werden, daß das - unter Gebrauchslast - nach 100.000 Lastwechseln vor der Rißinjektion erzielte Meßergebnis mit dem nach der Rißinjektion unter gleicher Last erzielten Wert übereinstimmt, da auch die Verpreßarbeiten unter Gebrauchslast erfolgten, so daß eine bedeutsame Beeinflussung des Tragverhaltens durch das Injektionsharz ausgeschlossen werden kann. In Bild 3 wurden die Meßergebnisse nach dem Injizieren in "Versuchsphase 2" entsprechend dargestellt. Es zeigte sich naturgemäß durch die Keilwirkung des Injektionsharzes eine weitere Vergrößerung der bleibenden Dehnung im unbelasteten Zustand. Hiervon abgesehen stellte sich - wie bereits für Phase 1 beobachtet - eine Balkensteifigkeit ähnlich wie im Ausgangszustand ein, sofern die äußeren Lasten unterhalb der Gebrauchslast lagen. Bei höheren Lasten ging der günstige Einfluß des Harzes durch neue Rißbildung im Beton zusehends verloren, und die Randfaser-Längenänderungen glichen sich den ursprünglich für diese Lasten beobachteten Größen an.

Entsprechende Tendenzen wie bei der Auswertung der Meßwerte der Randfaser-Längenänderung können auch aus den Formänderungsmessungen für Versuchsphase 2 abgeleitet werden. Sie sind für die Beobachtungszeitpunkte

- nach Auslagerung
- nach 100 000 Lastwechseln
- nach Verpressung
- beim Bruchversuch (nach 50 000 Lastwechseln)

in Bild 5 grafisch dargestellt.

Zusammenfassend lassen sich aus den augenscheinlichen und meßtechnischen Beobachtungen folgende Schlußfolgerungen ziehen:

Mit ausgewählten EP-Harzsystemen können einwandfreie Rißverpressungen durchgeführt werden, die keine signifikanten Alterungserscheinungen durch langjährige Lagerung im Freien oder Schwellbeanspruchungen zeigen. Da beim vorliegenden Versuchsbalken unter Einwirkung der Gebrauchslast injiziert wurde, lassen sich die Ergebnisse nur für solche Fälle verallgemeinern.

Das Tragverhalten eines vorgespannten Balkens wird durch Rißverpressung unter Gebrauchslast günstig beeinflußt, da die Keilwirkung des Harzes in den Rissen eine zusätzliche Vorspannung bewirkt. Für alle unterhalb der Injektionslast liegenden Beanspruchungen ergibt sich für die Haftfuge eine Druckbeanspruchung. Zugspannungen treten erst oberhalb dieser Last oder langfristig nach Kriechen und Schwinden auf. Nach dem Verpressen ist bei solchen Balken ein Tragverhalten ähnlich wie im ursprünglichen Zustand zu erwarten.

5. Dauerhaftigkeit von Rißinjektionen im Langzeitversuch

5.1. Versuchsprogramm und -ziel

Zur Untermauerung der am Balken K1 für spezielle Injektionsharze gewonnenen Ergebnisse sollten Langzeitversuche an zehn beschränkt vorgespannten Balken durchgeführt werden. In acht Balken wurden planmäßig Risse erzeugt und mit unterschiedlichen, aus dem umfangreichen Marktangebot repräsentativ ausgewählten Reaktionsharzen verpreßt. Dabei wurden sowohl EP- als auch UP-Harzsysteme berücksichtigt. Die zwei übrigen Balken blieben unversehrt und sollten, dem gleichen Versuchsprogramm unterworfen, Vergleichsmöglichkeiten mit ungerissenen Balken gleicher Art eröffnen.

Anders als bei Balken K1 sollte die Verpressung der Risse im unbelasteten Zustand erfolgen, da ein Verpressen unter definierten Lasten für praktische Fälle mit Schwierigkeiten verbunden sein kann. Außerdem ist dieser Zustand bei späterer Belastung deutlich ungünstiger, da hier bereits unter geringen Nutzlasten Zugspannungen durch das Harz zu übertragen sind.

Nach Verpressung der Risse wurden die Balken vorgespannt und - wiederum ungünstiger als im Vorversuch (K1) - unter einer ständig wirkenden Last für die Dauer von mindestens 12 Monaten im Freien gelagert, wobei die Last so gewählt wurde, daß zumindest 75 % der nach DIN 4227 für beschränkt vorgespannte Brückenbauteile zugelassenen Biegezugspannung auftraten. Bei Wahl einer noch höheren Last wäre bereits mit weiteren Betonrissen zu rechnen gewesen, wodurch sich unerwünschte Entlastungen des Injektionsharzes hätten ergeben können.

Im Verlauf der Lagerung im Freien wurden die sanierten Risse zur Beobachtung etwaiger Änderungen der Haftqualität in möglichst regelmäßigen Zeitabschnitten mit einer Rißlupe untersucht und außerdem das Dehnungs- und Verformungsverhalten der Balken meßtechnisch verfolgt.

Im Anschluß an die Lagerung im Freien sollten die Balken einer Schwellbeanspruchung ausgesetzt werden, und zwar mit einer Oberlast, die ca. 75 % der zulässigen Biegebeanspruchung entspricht. Diese Last ist im Hinblick auf die nach einer Sanierung praktisch vorkommenden Beanspruchungen von beschränkt vorgespannten Brückenbauteilen als ungünstig anzusehen: Unter 50 % der Verkehrslastschnittgrößen dürfen nach DIN 4227 bekanntlich keine Zugspannungen auftreten. Hieraus ergibt sich insgesamt, daß nach derzeit gültigen Berechnungs-

vorschriften ein Schwingnachweis im Regelfall am überdrückten Querschnitt erfolgt. Schwellbeanspruchungen im Zugbereich treten dann auf, wenn nach dem Entstehen von Rissen unplanmäßige Zwangsnchnittgrößen verbleiben.

Ein abschließender Bruchversuch sollte der Feststellung dienen, unter welchen Lasten und in welcher Weise ein Versagen von Haftfugen eintritt, sowie zeigen, ob sanierte Balken nach einer Alterung eine verminderte Bruchsicherheit aufweisen: Da mit zunehmender Belastung die Biegezugzone eines Betonbauteils unabhängig vom Vorhandensein verpreßter Risse aufreißt, sobald die Biegezugfestigkeit des Betons örtlich überschritten wird und somit die Zugzone nicht zur Traglast beiträgt, ist zwar eine direkte Relation zwischen Rißinjektionen und Traglast nicht zu erwarten. Denkbar wäre allerdings, daß durch die Vorbelastung zur Erzeugung der Risse der Verbund zwischen Beton und Schlaffstahl überbeansprucht worden ist und hieraus sich ein rasches Aufklaffen einzelner Risse ergibt. Die Nulllinie wandert nach oben und verkleinert die Druckzone, so daß die Tragfähigkeit des Balkens eher erschöpft wird.

5.2. Versuchsbalken

Als Versuchskörper wurden Rechteckbalken mit den Querschnittsabmessungen $b/d = 35/60$ gewählt. Sie erhielten eine Schlaffstahllarmierung 2 III $\emptyset 10$ oben bzw. 2 III $\emptyset 18$ unten und wurden zentrisch mit 1 $\emptyset 16$ St 1325/1470 vorgespannt. Zur Abdeckung der Spaltzugkräfte im Einleitungsbereich der Vorspannkraft wurde eine Verbügelung von III $\emptyset 8$, $e = 11$ cm, angeordnet. Auf der verbleibenden Balkenlänge wurde der Bügelabstand zu $e = 25$ cm gewählt. Schalplanmaße und Bewehrungsführung sind in Bild 6 dargestellt.

Damit spätere Ergebnisse nicht u. U. durch Wahl einer extremen Betonfestigkeit beeinflußt erscheinen, wurde für alle Balken eine mittlere Betongüte, B 35, angestrebt (Tabelle 1). Die deutlich festzustellenden Streuungen erklären sich vornehmlich dadurch, daß die Balken aus arbeitsorganisatorischen Gründen in verschiedenen Mischvorgängen, zeitversetzt im Abstand von jeweils mehreren Wochen, hergestellt wurden.

5.3. Rißerzeugung in den Balken L1 bis L8

Etwa vierzehn Tage nach dem Betonieren wurden die Balken zur planmäßigen Rißerzeugung erstmals belastet. Zu diesem Zeitpunkt waren sie noch nicht vorgespannt. Die Belastungseinrichtung ist in Bild 7 dargestellt.

Um zu verhindern, daß sich eine Vielzahl kleiner, nur schlecht verpreßbarer Risse einstellte, waren die Längsbewehrungsstäbe auf der Biegezugseite an allen Kreuzungspunkten mit der Bügelbewehrung im mittleren Balkenbereich mit Klebeband umwickelt. An diesen Schnittpunkten war hierdurch die Verbundwirkung weitgehend herabgesetzt, wodurch einige gut verpreßbare Risse unter Last entstanden. Daneben traten jedoch auch Risse mit äußerst geringen Breiten auf. Die Rißbilder der einzelnen Balken sind in Bild 8.1 bis 8.8 angegeben. Festgehalten wurde dabei neben der Rißlast auch die zur Erzeugung bleibender Rißbreiten aufgebrachte Last sowie die Grenzwerte der erzielten Rißbreiten.

Ursprünglich war geplant, durch eine stufenweise Lastanhebung das in Tabelle 2 angegebene Rißbreitenspektrum einzustellen. Im Verlauf der Versuchsdurchführung mußte jedoch festgestellt werden, daß eine Voraussage hinsichtlich der im unbelasteten Zustand verbleibenden Rißbreiten anhand der im belasteten Zustand beobachteten Rißbreiten nicht möglich war.

5.4. Rißinjektion und Vorspannung

Die Risse mit Breiten $w_{\min} \geq 0,2$ mm wurden unter Anwendung des am Balken K1 erprobten, in Abschnitt 4.5 ausführlich erläuterten Verfahrens verpreßt. In Bild 8.1 bis 8.8 sind diese Risse besonders gekennzeichnet. Dort sind auch Angaben über die Lage der Einpreß- und Entlüftungsstücke gemacht.

Zur Injektion wurden die fünf Reaktionsharze

EP1	-	Concretin IH	für Versuchsbalken L1 und L2,
EP2	-	Euresyst 850	für Versuchsbalken L3 und L4,
EP3	-	Araldit 156	für Versuchsbalken L5 und L6,
UP1	-	Vestopal 400	für Versuchsbalken L7 sowie
UP2	-	Palatal A410	für Versuchsbalken L8

ausgewählt, die die in Abschnitt 3.2.4 niedergelegten Anforderungen an Injektionsharze weitgehend erfüllen:

Sie alle sind bei niedrigen Temperaturen verarbeitbar, besitzen hinreichende Topfzeiten und sind von niedriger bis mittlerer Viskosität. Die UP-Harze sind ebenso wie die EP-Harze alkalibeständig und weisen niedrige Volumenschrumpfung auf.

Die Auswahl der Harze beschränkte sich auf Standardtypen. Es ist davon auszugehen, daß sie zum Teil auch in formulierter Form unter anderen Markennamen für verschiedene spezielle Anwendungsgebiete angeboten werden. Nach den abweichenden Angaben der Hersteller über ihre Produkte war mit unterschiedlichen Versuchsergebnissen zu rechnen. Dabei kann jedoch aus der Tatsache, daß ein RH-System sich u. U. als geeigneter erweist, nicht ohne weiteres geschlossen werden, daß nur noch ein spezieller Hersteller als Lieferant für Injektionsharze in Frage kommt. Hierdurch wird vielmehr unterstrichen, daß die unter den Bezeichnungen EP- bzw. UP-Harz auf dem Markt angebotenen Stoffe aufgrund ihrer unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung nicht in gleicher Weise für jeden Zweck geeignet sind. Sollen Mißerfolge bei Sanierungsmaßnahmen weitgehend ausgeschaltet werden, ist es unumgänglich, sich vom Hersteller bei der Auswahl des Harzes im Hinblick auf die gewünschten Eigenschaften beraten zu lassen.

Wegen der in der Praxis bevorzugten Verwendung von EP-Harzen zur Rißinjizierung wurde der Untersuchung ihres Langzeitverhaltens besondere Bedeutung zugemessen. So wurden je zwei Balken mit jedem der gewählten EP-Systeme und nur je ein Balken mit jedem UP-System verpreßt.

Die Aushärtung der EP-Harze erfolgte mit der vom Hersteller für das jeweilige Produkt mitgelieferten Härterkomponente. Zur Vernetzung der UP-Harze wurde die bei niedrigen Temperaturen anwendbare Härterkombination BP/Aminbeschleuniger gewählt und zusätzlich eine weitere Verdünnung mit Styrol vorgenommen. Die gewählten Zusammensetzungen der Harze in Gewichtsanteilen sind zusammen mit Angaben über Viskosität und Topfzeit der Produkte in Tabelle 3 angegeben.

Nach siebentägiger Aushärtungsdauer der Reaktionsharzsysteme wurden die Versuchskörper jeweils zentrisch vorgespannt mit $z_v = 160 \text{ kN}$. Anschließend wurden die Hüllrohre mit Zementmörtel verpreßt.

5.5. Langzeitversuche im Freien

5.5.1. Versuchsablauf

Die zehn Versuchsbalken wurden entsprechend Bild 9 paarweise übereinander im Freien gelagert. Durch Zusammenspannen der Balkenenden mittels je zwei Spannstählen $\varnothing 16$, St 1325/1470 wurden die Balken einer Dauerlast von ca. 75 kN an jedem Balkenende unterworfen. Um in beiden übereinanderliegenden Balken, von denen das Eigengewicht des oberen den unteren belastet, eine etwa gleichgroße maximale Randzugspannung zu erzeugen, wurde die Stützweite des unteren Balkens entsprechend verändert. Aus Eigengewicht und aufgebrachter Dauerlast ergibt sich insgesamt eine maximale Randzugspannung von $\sim 2,7 \text{ N/mm}^2$, was einer Auslastung von 75 % des nach gültiger Norm zulässigen Wertes gegenüber dem Lastfall HZ entspricht.

Da zu erwarten war, daß sich die Balken durch Kriechen mit der Zeit zunehmend verformen und dieses bei der gewählten Lasteintragsart zu einer Minderung der Dauerlast führen würde, mußte dafür Sorge getragen werden, die aufgebrachte Last näherungsweise konstant zu halten. Hierzu wurde unter jeder Ankerplatte der lasterzeugenden Spannstähle ein Tellerfederpaket angeordnet, welches so dimensioniert war, daß die überschläglich ermittelte voraussichtliche Balkenverformung zu keinem nennenswerten Abfall der anfänglichen Dauerlast führte. Nach der Kennlinie der verwendeten Tellerfedern war danach die Anordnung von 11 Federn notwendig, um eine Änderung der Dauerlast auf höchstens 5 % zu begrenzen.

Während der Auslagerungszeit wurden in regelmäßigen Abständen die Dehnungs- und Verformungsänderungen der Versuchsbalken meßtechnisch beobachtet und aufgezeichnet. Die Messung erfolgte mechanisch mit einem Setzdehnungsmesser (Meßlänge: 50 cm). Die bei allen zehn Balken identische Meßkettenanordnung ist aus Bild 9 zu ersehen. Während die Meßketten parallel zu den Balkenlängsrändern der Bestimmung der Randfaserdehnungen dienen sollten, ließen sich Meßwerte aus Meßstrecken senkrecht zur Spannrichtung, bei denen sich jeweils ein Meßpunkt auf einem der beiden zusammengespannten Balken befand, zur Bestimmung der Balkenformänderungen heranziehen. Eine Ermittlung der Durchbiegung jedes einzelnen Balkens war so allerdings nicht möglich.

Da die Dehnungen und Durchbiegungen der Balken durch wechselnde Temperaturen und Luftfeuchten wesentlich beeinflußt werden, war es für die Erfassung der lastabhängigen Auswirkungen notwendig, zugleich Meßstellen anzuordnen, deren Meßwerte von der Belastung unbeeinflußt sind. Hierzu wurde eine Meßstelle auf der Stirnseite eines der Vergleichsbalken und eine auf einem unbelasteten Spannankerstück angeordnet, welches auf einem der fünf Versuchsstände gelagert wurde. Die Eliminierung lastunabhängiger Dehnungen erfolgte durch Reduktion der Meßwerte auf die an den Vergleichsstrecken gewonnenen Werte. Eine völlige Bereinigung war dabei allerdings nicht zu erwarten, da infolge unterschiedlicher Sonneneinstrahlung und Windrichtung bereits eine geringe Abweichung der Lage einer Meßstrecke von der der Vergleichsstrecke zu nicht kompensierbaren Dehnungsanteilen führt.

Alle während der Außenlagerung festgehaltenen Meßergebnisse sind in Anlage 2 tabellarisch angegeben.

5.5.2. Ergebnisse der Langzeitversuche

Wesentlich für eine Beurteilung des unterschiedlichen Verhaltens der fünf Balkenpaare war u.a. die Klärung der Frage, inwieweit die angestrebte Konstanzhaltung der Last bei allen Ständen im Verlauf der Lagerung im Freien erreicht werden konnte.

Ursprünglich war beabsichtigt, mögliche Laständerungen an Hand der Dehnungsänderungen der vier Spannanker zu verfolgen. Bereits im Verlauf des Versuchs mußte jedoch festgestellt werden, daß eine Kompensation der lastunabhängigen Dehnungsanteile durch Abziehen der Dehnungsänderungen des Vergleichsstahlstabes keine sinnvollen Ergebnisse erzielen ließ. Dies wurde vornehmlich darauf zurückgeführt, daß sich der Vergleichsstab auf Grund seiner Lage in anderem Maße erwärmte und abkühlte als die Spannanker. Da die Ankerkraftänderungen sich jedoch auch aus den Abstandsänderungen der Balkenenden (Bild 10) quantitativ hinreichend genau bestimmen lassen, wurde auf die Entwicklung einer besseren Methode zur Bestimmung der lastunabhängigen Dehnungsanteile der Ankerstangen verzichtet.

In Bild 10 sind die Abstandsänderungen der fünf Balkenpaare untereinander an kennzeichnenden Schnittstellen in Abhängigkeit von der Lagerungszeit grafisch dargestellt. Für das Balkenpaar L7/L8 ist dabei aus später noch zu erörternden Gründen nur die Summe beider Durchbiegungen in Feldmitte, zwischen den beiden Lagerpunkten, berücksichtigt, während für die anderen Balkenpaare zusätzlich die Abstandsänderung an den Kragarmenden ablesbar ist. Diese wurde dabei als Mit-

telwert der an den beiden Kragarmenden für Meßstrecke Y (Bild 9) abgelesenen Längenänderungen in die grafische Darstellung eingeführt. Alle Meßwerte wurden auf den jeweiligen Wert nach Aufbringen der Dauerlast bezogen, um den elastischen Anteil der Gesamtverformung zu eliminieren. Dieser ist abhängig von Anzahl und Breite der einzelnen verpreßten und unverpreßten Risse und demzufolge naturgemäß bei allen Balken von unterschiedlicher Größe. Hieraus läßt sich also kein harzabhängiges unterschiedliches Balkenverhalten ableiten.

Zur Kompensation der in den Meßwerten enthaltenen Formänderungsanteile infolge Temperatur und Schwinden war eine Heranziehung der an den Vergleichsmeßstrecken ermittelten Meßwerte nicht notwendig. Sie erfolgte hier durch Abzug des Mittelwertes der Längenänderungen der Meßstrecken A_i , der Lagerstauchung, von der Gesamtverformung, da in der mittleren Meßwertänderung $\Delta A_{i,m}$ naturgemäß auch alle lastunabhängigen Formänderungsanteile enthalten sind.

Nach Bild 10 ergaben sich im Verlaufe der Lagerung im Freien Kragarmverformungen der zusammengespannten Balkenpaare zwischen insgesamt 1 mm bei $L1/L2$ und 2,3 mm bei $L9/L10$. Unterstellt man mit hinreichender Genauigkeit diese Werte als Längenänderung der Ankerstangen, so ergeben sich durch entsprechende Entlastungen der Federn Ankerkraftverluste zwischen 6 und 15 %. Wie Tabelle 3 zeigt, stehen diese Ergebnisse in hinreichender Übereinstimmung mit kontrollierenden Ankerkraftmessungen zum Abschluß der Lagerung im Freien. Die ursprünglich angestrebte Konstanthaltung der Last gelang danach allerdings nicht bei allen Ständen. Durch das Öffnen von Rissen im Verlauf der Lagerung im Freien befanden sich die Balken nicht mehr im ungerissenen Zustand I, so daß sich z.T. größere Formänderungen als erwartet ergaben, was zu größeren Ankerkraftverlusten führte.

Bild 10 zeigt, daß sich die beobachteten Abstandsänderungen aller Balkenpaare etwa affin zueinander verhalten. Betragsmäßig unterscheiden sie sich jedoch um maximal 130 %. Diese Abweichung kündigte sich bereits nach kurzer Standzeit an. Sie erklärt sich sicher einerseits so, daß unter der Dauerlast der Verbund zwischen Betonstahl und Beton neben den Rissen örtlich unterschiedlich nachgab, wodurch sich wegen ihrer geringen Rißbreite unverpreßt gebliebene Risse öffneten. Zusätzlich konnte im Verlauf der Lagerung im Freien die Entstehung neuer Risse in kurzem Abstand von den verpreßten Rissen festgestellt werden. Dabei war jedoch bei keinem der sanierten Balken ein Versagen an einer Haftpuge Harz-Beton zu beobachten.

Eine weitere Ursache der quantitativ unterschiedlichen Durchbiegung könnte das vom Balkenalter abhängige abweichende Kriechverhalten darstellen. Wie bereits erwähnt, konnten die Balken aus arbeitstechnischen Gründen nicht gleichzeitig oder in kurzen Zeitabständen nacheinander betoniert werden. Das Alter der Balken differierte beim Vorspannen und zum Zeitpunkt der Aufbringung der Dauerlast um ca. 5 Monate. Der so bedingte unterschiedliche Verlust an Vorspannkraft während der Lagerung im Freien betrug jedoch rechnerisch nur 1,5 %, wodurch sich vergleichsweise geringe Randfaserdruckspannungsunterschiede und entsprechend geringe Kriechverformungsunterschiede ergaben.

Besonders interessant ist die Tatsache, daß das planmäßig ungerissene Balkenpaar L9/L10 die deutlich größten Abstandsänderungen an den Kragarmenden aufwies. Die Hauptursache dafür ist im Auftreten von Rissen unter Dauerlast zu suchen, welche allerdings außerhalb der Meßketten zur Beobachtung der Randfaserlängenänderungen (D bzw. Z) lagen. Wie aus der grafischen Darstellung der Längenänderungen der Biegezug- und Biegedruckzone zu ersehen ist (vgl. Bilder 11 und 12) war dort ein so deutlich unterschiedliches Verhalten nicht feststellbar.

Eine Erklärung für diese besondere Rißbildung ist darin zu suchen, daß unter dem Einfluß von Dauerlast und Temperatureigenstressungen im Betongefüge vorhandene Schwachstellen im allgemeinen schon frühzeitig versagen. Bei den verpreßten Balken wurden an solchen Stellen bereits bei der planmäßigen Überlastung Risse erzeugt und anschließend größtenteils verpreßt. Die Balken L1 bis L8 besaßen somit nach dem Verpressen gegenüber den Vergleichsbalken ein höheres Zugfestigkeitsniveau und waren demzufolge deutlich weniger rißgefährdet.

In Bild 10 konnte für das Balkenpaar L7/L8 die Abstandsänderung an den Kragarmenden nicht angegeben werden, da abweichend von den Ergebnissen bei den anderen Balkenpaaren ein völlig unsystematisches Verhalten festzustellen war. Dies hängt jedoch vermutlich nicht damit zusammen, daß diese Balken mit UP-Harzen und die anderen mit EP-Harzen verpreßt oder ursprünglich unversehrt waren. Wahrscheinlich liegt die Ursache in einer während des Versuchsablaufs leider nicht festgestellten Verunreinigung der Meßmarken oder ihrer unzureichenden Klebefestigung. Qualitative Rückschlüsse auf das Tragverhalten lassen sich bei diesen Balken somit nur aus den Meßergebnissen der Randfaserlängenänderung (Bilder 11 und 12) ziehen.

In den Bildern 11 und 12 sind die arithmetischen Mittel aus den Längenänderungen der Meßstrecken D_i bzw. Z_i für jeden Balken dargestellt, wobei diese jeweils durch Abzug der Dehnungen der Vergleichsstrecke am Beton vom lastunabhängigen Dehnungsteil bereinigt werden sollten. Anders als in Bild 11 zeigt sich in Bild 12 besonders in den ersten Lagerungsmonaten eine deutliche Abweichung von der zu erwartenden Kriechkurve. Die Ursache hierfür liegt sicher in der für die Zugfaser zu ungenauen Kompensationsmethode: In den Monaten Januar bis August ergab sich zu den Beobachtungszeitpunkten jeweils eine besondere Längenänderung der Vergleichsstrecke im Vergleich zum Ausgangswert. Auf der Biegezugseite konnte sich der Beton der Randfaser jedoch zum Teil durch Veränderung vorhandener Rißbreiten dehnen, ohne daß sich dabei die Länge der Meßstrecken Z_i besonders veränderte. Somit wurden in den genannten Monaten bei Berücksichtigung der Vergleichsstreckenwerte in diesem Maße am Zugrand nicht aufgetretene lastunabhängige Längenänderungen kompensiert. Ohne diesen Fehler wäre vermutlich als Mittelwert für alle Balken auch im Zeitraum Januar bis August die strichpunktierte Kriechkurve auf der Biegezugseite festgestellt worden.

Der Vergleich der Balken L7 und L8 mit den anderen Balken, der nach Bild 10 nur bedingt möglich war, zeigte auch hier ähnliches Formänderungsverhalten.

Als Ergebnis der 15-monatigen Lagerung aller Balken im Freien ist festzuhalten:

In keinem der sanierten Balken wurde die Adhäsionsbindung Harz-Beton durch Umwelteinflüsse zerstört. Die Randfaserdehnungen und Balkenverformungen verlaufen bei allen Balken weitgehend affin zueinander. Quantitativ feststellbare Unterschiede ergaben sich weniger durch das unterschiedliche Balkenalter und das hierdurch bedingt abweichende Kriechverhalten, sondern insbesondere durch deutliche Unterschiede in Rißanzahl und Rißbreite. Ein signifikanter Unterschied bedingt durch die verschiedenen Injektionsharze läßt sich nicht stichhaltig nachweisen. Besondere Bedeutung verdient die Beobachtung, daß einmal überlastete und anschließend sanierte Balken unter Dauerlast weniger zu Rißbildung neigen als äußerlich unversehrte Balken.

5.6. Dauerhaftigkeit gealterter RiBinjektionen unter Schwellbelastung und ihr Einfluß auf die Balkentragfähigkeit

5.6.1. Versuchsablauf

Es wurde die gleiche Belastungseinrichtung wie bei der RiBerzeugung (Bild 7) verwendet. Die Versuchsdurchführung erfolgte unter Raumklima.

Die Schwellbelastung wurde so gewählt, daß sich die Randzugspannung zwischen ~ 20 und ~ 75 % des zulässigen Wertes für B 35 nach DIN 4227 bewegte. Somit wurde die Oberlast unter Berücksichtigung des Einflusses von Kriechen und Schwinden zu $F^O = 72,5$ kN und die Unterlast zu $F^u = 30$ kN gewählt. Die vorhandene Betongüte der Balken war $> B 35$.

Zu Beginn der Schwellversuche, nach 10.000 Lastwechseln sowie zum Abschluß der Versuche, nach 50.000 Lastwechseln, wurden jeweils zu den Lasten F^u und F^O die Randfaserdehnungen auf der Biegezugseite der Balken sowie die Balkenverformungen aufgezeichnet, um etwaige Änderungen des Tragverhaltens erkennbar zu machen. Dabei erfolgte die Dehnungsmessung mit einem Setzdehnungsmesser (Meßlänge: $l = 10$ cm), dessen Ergebnisse direkt über einen Digitaldrucker ausgegeben wurden. Die Durchbiegungsmessung erfolgte mit Meßuhren. Die Meßkettenanordnung und die Lage der Meßuhren ist Bild 7 zu entnehmen.

Beim Bruchversuch wurde - ausgehend von den Laststufen F^u und F^O - die Last in Stufen von 20 kN erhöht. Dabei wurde festgestellt, unter welcher Last es jeweils zu einem Aufbrechen der Adhäsionsbindung Beton-Kunstharz kam. Auch im Verlauf des Bruchversuchs wurden zu jeder Laststufe Randfaserdehnungen und Balkenverformungen gemessen. Die Meßwerte sind im Anhang, Anlage 3, tabellarisch angegeben.

5.6.2. Ergebnisse

Zur Verdeutlichung von Tragverhaltensänderungen sind in Bild 13 für jeden Balken die Mittelwerte aus den aufsummierten Längenänderungen beider Meßketten vor der Schwellbeanspruchung und danach beim Bruchversuch dargestellt. Daneben sind jeweils die errechneten Werte für den gerissenen (II) und den ungerissenen Zustand (I) angegeben. Es ist abzulesen, daß sich die Balkensteifigkeit und demnach das Tragverhalten durch die Schwellbeanspruchung nur unbedeutend änderte. Dies steht in Einklang mit den augenscheinlichen Beobachtungen, wonach sich keine

verpreßten Risse öffneten. Eine Verallgemeinerung dieses Ergebnisses ist allerdings nur auf solche Beanspruchungen möglich, bei denen die Biegezugfestigkeit des Betons nicht überschritten wird. Die gemessenen Längenänderungen lagen erwartungsgemäß zwischen den rechnerisch für Zustand I und Zustand II ermittelten Werten. Dabei wurde die Randfaserlängenänderung der einzelnen Balken sicher vornehmlich bestimmt durch Anzahl und Breite verpreßter und unverpreßter Risse. Eine signifikante Abhängigkeit von der Güte des jeweiligen Injektionsharzes ist schwer zu belegen, wenn auch nach Bild 13 eine ansteigende Tendenz der Längenänderungen von EP1-sanierten Balken über EP2- und EP3- zu den UP-sanierten Balken festzustellen ist.

Nach dem Schwellen verminderte sich durch weitere Laststeigerung über die Gebrauchslast hinaus die Balkensteifigkeit zusehends, da nun neue Betonrisse hinzutraten. Schließlich wurde die Fließgrenze der Bewehrung erreicht. Diese Phase ist aus der gegenüber Beanspruchungen unterhalb der Betonzugfestigkeit deutlich größeren Steigung der Graphen $\Delta l = f(F)$ abzulesen. In Bild 14 ist jeweils das arithmetische Mittel aus beiden Meßkettensummen in Abhängigkeit von den Lasten dargestellt. Es zeigt sich, daß sowohl die mit EP-Harz- als auch die mit UP-Harz-Systemen verpreßten Balken untereinander und auch im Vergleich zu den ursprünglich unversehrten Balken L9 und L10 ein ähnliches Verhalten aufweisen.

In Bild 15 sind die Durchbiegungen der Balken vor und nach der Schwellbeanspruchung angegeben. Erwartungsgemäß zeigten sich auch hier keine Auswirkungen auf die Formänderungen, die signifikant auf die Schwellbeanspruchung zurückführbar sind. Ebenso bestätigt Bild 16, in dem die Mittendurchbiegungen der EP- bzw. UP-injizierten Balken beim Bruchversuch denen der Vergleichsbalken gegenübergestellt sind, daß sich die Balken nur unbedeutend in ihrem Verhalten unterscheiden.

In Tabelle 5 sind die Lasten angegeben, bei denen Schädigungen der verpreßten Risse auftraten. Dabei war es jedoch stets so, daß zuerst in der Nähe verpreßter Risse neue Risse im Beton entstanden, die dann zu jenen verzweigten und so stellenweise zu Ablösungen zwischen Harz und Beton führten. In Tabelle 5 sind außerdem die Traglasten aller zehn Balken angegeben. Sie differieren um 15 %, doch hing die Höhe der Bruchlast nicht mit der besonderen Güte einzel-

ner Reaktionsharze zusammen, was durch die abweichenden Bruchlasten der mit dem gleichen Harzsystem sanierten Balken zum Ausdruck kommt. Sie wird vielmehr auf die unterschiedliche Güte des Betons und der Verbundfestigkeit bei den einzelnen Balken zurückzuführen sein. Da die beiden Vergleichsbalken die niedrigste Traglast von allen erreichten, kann eine besonders ungünstige Auswirkung von Reaktionsharzinjektionen auf die Traglast nicht abgeleitet werden. Aus Bild 14 ist zu ersehen, daß die Bewehrung in den Balken L9 und L10 zuerst in den Fließzustand überging. Die ursprünglich erwarteten höheren Dehnungsänderungen der sanierten Balken infolge Verschlechterung der Verbundqualität durch die vorausgegangene Überlastung traten nicht ein. Demnach wurden möglicherweise vorhandene Verbundstörungen neben den Rissen weitgehend durch Injektion mit Reaktionsharzen wieder beseitigt.

Bei allen zehn Balken lag die erreichte Traglast über dem rechnerisch auf der Grundlage von DIN 4227 für B 35 ermittelten Wert. Es ergaben sich Reserven von ca. 10 bis 30 %, wobei die Vergleichsbalken die geringsten zusätzlichen Sicherheiten aufwiesen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß Rißinjektionen in gealterten Balken auch unter Schwellbeanspruchung vollständig resistent und dauerhaft sind, sofern durch die Oberlast die Betonzugfestigkeit nicht erreicht wird. Auch vorgeschädigte Balken mit hoch an den oberen Balkenrand heranreichenden Rissen weisen nach ihrer Verpressung mit Reaktionsharzsystemen und einer Alterung keine geringere Traglast als ungeschädigte Balken auf.

6. Haftfestigkeit von Reaktionsharzmörteln auf Zementbeton, Untersuchungen an Probekörpern

6.1. Ziel der Untersuchungen

Bei einer kraftschlüssigen Verbindung zwischen Alt- und Neubeton ist nach den derzeitigen Bestimmungen (DIN 1045, § 19.4) in der Verbundfuge eine Bewehrung oder eine entsprechende stahlbaumäßige Verbindung zur Schubsicherung anzuordnen, da die Festigkeit an der Fuge unter Zug- und Schubbeanspruchung erheblich geringer ist als die Festigkeit des Grundwerkstoffes. Bei der nachträglichen Ergänzung eines Stahlbetonbauteils, z. B. zum Zweck der Sanierung oder zur Erhöhung der Tragfähigkeit, ist das Anbringen einer solchen Schubsicherung stets sehr aufwendig bzw. in manchen Fällen unmöglich. Als Alternative bietet sich daher die in der Durchführung wesentlich einfachere Ergänzung von Betonbauteilen durch hochhaftfeste Reaktionsharzmörtel an.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollten Untersuchungen zur Bestimmung der wesentlichen Einflüsse auf die Haftfestigkeit einer Reaktionsharzmörtel-Zementbeton-Verbindung durchgeführt werden mit der Zielsetzung, geeignete Reaktionsharzmörtel auf Epoxidharz-Basis (EP) oder ungesättigter Polyesterharz-Basis (UP) zu finden und die Bedingungen zu klären, unter denen sie praktisch eingesetzt werden können.

6.2. Vorversuche an Probekörpern und Entwicklung von Prüfverfahren

Aus den zahlreichen in der Literatur veröffentlichten Verbundversuchen [7] an Zementbeton kann entnommen werden, daß der Bruch stets in der Verbundfuge erfolgt, d. h. die Versagensursache ist in der Überwindung der Haftkräfte in der Fuge zwischen Alt- und Neubeton zu suchen. Beim Verbund von RHM und ZB aber läßt sich die Bruchstelle und -ursache nicht mehr eindeutig voraussagen; der Bruch kann hier entweder durch Erreichen der Haftfestigkeit in der Verbundfuge oder durch einen Festigkeitsbruch im Zementbeton erfolgen. Ein Versagen innerhalb des Reaktionsharzmörtels darf dagegen im allgemeinen ausgeschlossen werden, da das in sich vernetzte Reaktionsharz größere Kräfte zu übertragen vermag als an der Haftfuge zum Zementbeton aufgenommen werden können.

Es war zunächst ein geeignetes Prüfverfahren zu entwickeln, bei welchem die Haftfestigkeit einer Fuge voll ausgeschöpft wird; dabei sollten die Prüfkörper so beschaffen sein, daß in der Verbundfuge eine eindeutige Spannungsverteilung herrscht. Diese Forderung läßt sich aber für den Fall einer "reinen Schubhaftfestigkeit" nicht uneingeschränkt erfüllen, da gleichzeitig stets auch Normalspannungen auftreten und sich im allgemeinen zu nicht achsparallelen resultierenden Hauptzug- bzw. Hauptdruckspannungen überlagern.

So zeigten denn auch Tastversuche mit Scherkörpern der Form A und B (Bild 17) deutliche Unterschiede in der Bruchart und starke Streuungen der Bruchlasten. Während bei EP-Mörteln stets Betonbruch erzielt wurde, versagte bei UP-Mörteln häufig die Kontaktfuge - was hierbei sicherlich zum Teil auf zusätzliche Eigenspannungen infolge Schwindbehinderung während des Aushärtens zurückzuführen ist. Über die tatsächliche Spannungsverteilung in der Verbindungsfuge konnte wegen der sich überlagernden Scheiben- und Biegetragwirkung keine genaue Aussage getroffen werden. Weitere Vorversuche wurden daher an Versuchskörpern der Form C vorgenommen, die als Scheiben anzusehen sind und eine klarere Zuordnung der Lastrichtung zur Verbundfuge gestatten. Die Last wurde dabei über eine schmale Zentrierleiste eingeleitet. Mit dieser Versuchsanordnung wurden für alle Reaktionsharzmörtel auf UP- und EP-Basis Betonbrüche in unmittelbarer Nähe der Verbundfuge (1 - 3 mm) bzw. Mischbrüche (Kontaktfuge und Zementbeton) erzielt. Eine weitere Verbesserung brachte schließlich der in Bild 18 dargestellte Versuchskörper. Durch Verkürzung der Verbundfuge und Vergrößerung des Lasteinleitungsbereichs ließen sich gegenüber der Körperform C geringere Streuungen der Ergebnisse erreichen.

Um Klarheit über den Spannungsverlauf, insbesondere im Bereich der Verbundfuge zu gewinnen, wurden mit Hilfe eines Finite-Element-Programms für Scheiben die Hauptspannungen des Versuchskörpers ermittelt. Sie sind im Bild 19 für die Belastung $F = 1$ maßstäblich nach Richtung und Größe dargestellt und zeigen einen zur Verbundfuge annähernd parallelen Verlauf der Hauptdruckspannungen. Die dazu senkrechten Hauptzugspannungen sind vergleichsweise sehr klein. Insgesamt erschienen Spannungsverlauf und Ergebnisse der Tastversuche so weit befriedigend, daß mit dieser Versuchskörperform bei den Hauptversuchen befriedigend signifikante Vergleichswerte für die Haftfestigkeit erwartet werden durften. Als Vergleichswert für die Schubhaftfestigkeit β_T wurde der Wert

$$\beta_{\tau} = \frac{F}{A_F}$$

festgelegt, wobei F die Bruchlast und A_F die Bruchfläche der Verbundfuge darstellt.

Da im Regelfall - z. B. bei Biege- und Querkraftbeanspruchung der Verbundfuge - stets Normal- und Schubspannungen gleichzeitig auftreten, wurde auch eine kombinierte Schubdruckfestigkeit (β_{SD}) von Verbundkörpern untersucht. Geeignete Versuchskörper mit schräg zur Belastungseinrichtung verlaufender Fuge boten sich aus den Untersuchungen von [23] und [30] an. Der hier zu verwendende Körper ist in Bild 20 dargestellt.

Die Neigung der Verbundfuge wurde zu 60° gewählt, da Vorversuche gezeigt hatten, daß bei dieser Neigung der Bruch stets in der Fuge oder genau parallel dazu in sehr geringem Abstand ($\sim 1 \div 2$ mm) erfolgt, während bei 45° Neigung Verbundfuge und Bruchfuge im allgemeinen nicht identisch waren. Die Spannung in der Fuge kann dann Bild 21 entsprechend angegeben werden.

Damit waren zwei Prüfkörper gefunden, mit denen sich für die Praxis wesentliche Beanspruchungen von Verbundfugen untersuchen ließen.

Wie Versuche an Verbundfugen zwischen Alt- und Neubeton zeigen, kann ihr Festigkeitsverhalten mit brauchbarer Näherung durch die Mohr-Coulomb'sche Bruchhypothese beschrieben werden. Es sollte daher evtl. untersucht werden, ob für RHM-ZB-Verbindungen ein ähnliches Verhalten vorliegt. Dazu wurden neben den Verbundschubkörpern auch solche aus einem Guß hergestellt, und zwar nur aus Reaktionsharzmörtel bzw. nur aus Zementbeton bestehend. Weiterhin wurden für alle Materialien die Würfeldruckfestigkeit, die Prismendruckfestigkeit und der E-Modul mittels Normversuchen nach DIN 1048 bzw. "Richtlinien für Reaktionsharzmörtel" festgestellt. Eine Übersicht der dazu notwendigen Materialprüfungen zeigt die Tabelle 6.

6.3. Zusammensetzung und Prüfung der verwendeten Grundwerkstoffe

6.3.1. Zementbeton

Bei der Wahl des Zementbetons war zwischen einem Normalbeton der Güteklasse B 25 bis B 55 und einem Spezialbeton mit weit höherer Festigkeit zu entscheiden. Für die Wahl eines solchen Spezialbetons sprach zunächst das oft in den

Vorversuchen beobachtete vorzeitige Festigkeitsversagen des Normalbetons, da bei annähernd gleichen Festigkeiten von Zementbeton und Reaktionsharzmörtel das Versagen der Verbundkörper sicher stärker auf die Fuge verlagert worden wäre. Dieser Vorteil müßte jedoch mit einer völlig anderen Zusammensetzung der Zuschlagstoffe erkaufte werden als sie bei baupraktischen Anwendungsfällen, z. B. Ergänzung und Sanierung von Bauteilen aus Normalbeton, anzutreffen ist, d. h. die Struktur der Haftflächen von Spezial- und Normalbeton würde sich wesentlich unterscheiden, und die Ergebnisse wären nicht auf Verklebungen mit Normalbeton übertragbar. Es wurde daher ein Normalbeton folgender Zusammensetzung gewählt:

Wasserzementwert W/Z: 0,65

Zement: 350 F

Größtkorn: 16 mm

Lagerung: 28 Tage Wasserlagerung, danach Lagerung bei 23 °C und 50 % relativer Feuchte ca. 42 Tage

Festigkeiten: s. Tabelle 9

Betonzuschlag:

Siebdurchgang	< 0,25 mm	< 0,5 mm	< 1,0 mm	< 2,0 mm	< 4,0 mm	< 8,0 mm	< 16,0 mm
Gew.-%	3,69	25,22	44,43	52,51	61,90	75,23	100

6.3.2. Reaktionsharzmörtel

Die Untersuchungen sollten sowohl für Epoxidharzmörtel (EPM) als auch für ungesättigte Polyesterharzmörtel (UPM) durchgeführt werden. Um den Versuchsumfang nicht zu aufwendig zu gestalten, konnten nur zwei Harze eines jeden Harztyps aus dem umfangreichen Angebot der Hersteller ausgewählt werden, wobei wieder auf folgende Eigenschaften besonderer Wert gelegt wurde:

1. Verarbeitbarkeit auch auf Baustellen, d. h. möglichst hohe Unempfindlichkeit gegen niedrige Temperaturen und Feuchtigkeit;
2. gute Klebeeigenschaft, niedrige Viskosität;
3. Beständigkeit gegen Alkalireaktion (bei UP-Harzen).

Unter diesen Gesichtspunkten wurden folgende Harzsysteme ausgewählt:

Euresyst 851	=	EP1
Araldit 154	=	EP2
Vestopal 400	=	UP1
Palatal A410	=	UP2

Die Mischungsverhältnisse der gebrauchsfertigen Systeme sind in Tabelle 8 angegeben.

An Zuschlägen wurde ofengetrocknetes, nach Körnungen sortiertes Kiesmaterial mit einem Größtkorndurchmesser von 4 mm und ein 10 %iger Anteil Quarzmehl mit einem Korndurchmesser $< 0,025$ mm verwendet. Die Siebanalyse der Zuschlagstoffe ergab den in Bild 22 dargestellten Verlauf.

Das Mischungsverhältnis von Bindemittel (Harz und Härter) und Zuschlagstoff betrug 1 : 10 Gewichtsteile. Es wurde nach Vorversuchen mit anderen Mischungsverhältnissen wie 1 : 6, 1 : 8 und 1 : 12,5 als optimal geeignet angesehen, denn die damit erhaltenen Mörtelmischungen ließen sich noch gut verdichten und wiesen genügend Harzüberschuß auf, um die Kontaktfuge zum Zementbeton jeweils vollständig zu benetzen. Harzreichere Mischungen wie 1 : 6 und 1 : 8 führten bei den UP-Mörteln zu starken Schwindverlusten während der Härtungsphase und damit zu niedrigeren Haftspannungen im Versuch. Harzärmere Mischungen wie 1 : 12,5 ließen sich schlecht verdichten und erforderten bei den UP-Mörteln einen höheren Styrolzusatz, welcher sich nachteilig auf die Durchhärtung der Prüfkörper auswirkte.

Die Herstellung des Verbundes erfolgte durch Einfüllen des RHM in eine Stahl-schalung, die den vorbereiteten ZB-Körperteil bereits enthielt. Anschließend wurde durch Rütteln verdichtet. Die Aushärtungszeit bis zur Prüfung des Verbundkörpers betrug einheitlich für alle RHM 7 Tage.

6.3.3. Ergebnisse der Werkstoffprüfungen

Tabelle 9 enthält die zahlenmäßige Auswertung der Festigkeitsprüfungen für die Grundwerkstoffe Zementbeton ZB und Reaktionsharzmörtel EP1, EP2, UP1 und UP2 unter Raumklima. Neben den Materialfestigkeiten wurden die Temperaturausdehnungskoeffizienten der Reaktionsharzsysteme und Reaktionsharzmörtel sowie ihre spezifischen Gewichte bestimmt. Sie sind in Tabelle 10 angegeben. Im Vergleich zu einem Beton ($\alpha_T \approx 10^{-5} \text{ K}^{-1}$) besitzen die hier verwendeten RH-Systeme einen ca. 6 bis 8-fachen Ausdehnungskoeffizienten. Durch den Zuschlagstoffanteil vermindert sich dieser Unterschied bei Reaktionsharzmörteln auf den 1,5- bis 2,0-fachen Wert des Betons.

6.4. Einflüsse physikalischer Parameter auf Schubdruck- und Schubhaftfestigkeit

6.4.1. Allgemeines

Wesentlichen Einfluß auf die Verbundfestigkeit eines ergänzten Querschnitts haben neben den Eigenschaften des verwendeten RHM die Rauigkeit und der Feuchtegehalt der Kontaktfuge sowie die Temperatur während der Belastung. Da jede dieser Einflußgrößen kontinuierlich variabel ist, konnten für die Versuche nur vernünftig erscheinende Grenzwerte festgelegt werden, deren Wahl und Definition in den folgenden Abschnitten erläutert wird. Die danach festgelegten Werte dieser Variablen sind im Schema der Tabelle ¹ zusammengefaßt und zeigen den Umfang der Untersuchungen, die zur Bestimmung der Schubdruck- und Schubhaftfestigkeit durchgeführt wurden.

6.4.2. Oberflächenbeschaffenheit

Die in der Praxis vorkommenden Oberflächen von Zementbetonteilen lassen sich folgendermaßen gliedern:

- a) schalungsrauh (Brettschalung)
- b) schalungsglatt (kunststoffbeschichtete Holz- oder Stahlschalung)
- c) Bruchflächen im Schadensfall
- d) Schnittfläche (Grobkörner durchgetrennt, rel. sehr glatt)

Oberflächen nach a) und b) scheiden für eine zur RHM-Ergänzung unmittelbar anwendbare Kontaktfläche aus. Vorversuche ergaben große Streuungen und niedrige Haftfestigkeiten. Dies liegt in erster Linie daran, daß die feine Zementschlemmschicht an der Betonoberfläche eine weit geringere Festigkeit besitzt als das sich daran anschließende Korn-Zementgefüge. Der Verbund versagte daher vorzeitig durch Abreißen der Schlemmschicht.

Diese ist deshalb stets vor dem Aufbringen eines RHM zu entfernen, damit dieser am Korngefüge des Zementbetons angreifen kann. Als geeignetes Verfahren zum Entfernen der Schlemmschicht bietet sich das Sandstrahlen mit Korundmaterial an.

Geschnittene Anschlußflächen nach d) sind relativ sehr glatt und müssen vor einer Verklebung durch Sandstrahlen aufgeraut werden. Damit ergeben sich aber Oberflächen, die in etwa den Flächen a) und b) nach einer Bearbeitung durch Sandstrahlen entsprechen, so daß von einer gesonderten Untersuchung für geschnittene Anschlußflächen abgesehen werden kann. Ein Verkleben geschnittener Anschlußflächen wäre evtl. mit Hilfe von Klebern möglich, die hier aber nicht untersucht werden sollen.

Für die Versuche kamen somit folgende Oberflächenarten in Frage:

- O1 = natürliche bruchraue Fläche
- O2 = sandgestrahlte Betonoberfläche
- O3 = steinmetzmäßige Bearbeitung der Oberfläche durch Spitzen

Davon wurde die Oberfläche O3 nicht geprüft, da zu befürchten war, daß sich das Betongefüge durch Spitzen an den hier verwendeten kleinen Versuchskörpern lockert und damit keine sichere Aussage über die Eignung dieser Oberflächenbehandlung erlaubt.

Die Ergebnisse der Verbundversuche mit den Oberflächen O1 und O2 sind in Bild 23 und Tabelle 12 dargestellt. Sie zeigen, daß die Schubhaftfestigkeit und die Schubdruckfestigkeit bei Verwendung der sandgestrahlten Oberfläche O2 erheblich geringer ist als bei der bruchrauen Oberfläche O1. Eine Ausnahme bildet lediglich EP1, das für beide Oberflächen annähernd gleiche Festigkeitswerte lieferte.

Die Ursache für die Festigkeitsverluste bei den Mörteln mit EP2, UP1 und UP2 liegt in der schlechteren Verzahnungsmöglichkeit des RHM auf der sandgestrahlten Oberfläche. Der Festigkeitsabfall ließe sich vermutlich durch stärkere Bearbeitung der Oberfläche gemäß O3 vermindern. So wurde für die Versuche mit dem EP1-Mörtel eine Kombination von O1 und O2 untersucht, die auch für die baupraktische Anwendung bei der Sanierung von Bruchfugen Bedeutung haben dürfte. Die ursprünglich bruchrauen Oberflächen der ZB-Teile wurden durch Sandstrahlen "geglättet", bis eine Oberfläche entstand, die in ihrer Rauigkeit zwischen O1 und O2 lag, in ihrer Gleichförmigkeit aber der sandgestrahlten Fläche O2 entsprach. Die Ergebnisse mit dem EP1-Mörtel bestätigen die Vermutung, daß durch stärkere Bearbeitung eine bessere Verbundfläche erzeugt werden kann; die Festigkeiten unterscheiden sich kaum von denen mit der bruchrauen Fläche O1.

6.4.3. Feuchtegehalt des Zementbetons

Feuchte Oberflächen setzen die Klebfähigkeit von Reaktionsharzen, insbesondere von UP-Harzen, gegenüber der an trockenen Oberflächen herab. In letzter Zeit wurden aber EP-Harze entwickelt, die auch Verklebungen auf stark feuchtem bis nassem Untergrund gestatten. Es darf allerdings kein freies Wasser auf der Oberfläche vorhanden sein. Die hier verwendeten EP-Harze (EP1 und EP2) gehören nach Angaben ihrer Hersteller zu dieser Gruppe feuchtigkeitsunempfindlicher Reaktionsharze. Untersucht wurden drei extrem auseinanderliegende Feuchtegehalte:

- F1 = stark feuchter Zementbeton, oberflächenfeucht nach einwöchiger Wasserlagerung und vierstündigem Ablaufenlassen vor der Verklebung
- F2 = mittlere Feuchte, 14-tägige Lagerung bei ca. 23°C/50 % rel. Luftfeuchte nach vorausgegangener einwöchiger Wasserlagerung
- F3 = trockener Zementbeton, gedarrt bei 105 °C

Die Feuchtegehalte F1 und F2 in Gewichtsprozenten wurden an jeweils 6 Schubdruck- und Scherkörpern ermittelt. Für die Schubdruckkörper ergaben sich für F1 : 5,24 % und F2 : 3,17 %. Bei den Scherkörpern wurden bei F1 : 3,90 % und bei F2 : 2,42 % gefunden (s. auch Tabelle 13). Die unterschiedlichen Feuchteprozentsätze für Schubdruck- und Scherkörper sind auf die unterschiedlichen Verhältnisse von Oberfläche zu Volumen der beiden Probekörpertypen zurückzuführen.

Bild 24 und Tabelle 14 zeigen die Ergebnisse der Schubdruck- und Scherversuche mit den verschiedenen Feuchtegehalten F1, F2 und F3. Während bei den Schubdruckversuchen die unterschiedliche Feuchte kaum einen Einfluß auf die Festigkeit hat, sind bei den Scherversuchen mit EP-Mörteln Unterschiede zu erkennen.

Beim EP2, das von seinem Hersteller direkt für Naßverklebungen empfohlen wird, ist eine ca. 20 %ige Steigerung der Schubhaftfestigkeit bei Feuchte F1 (stark feuchter Zementbeton) gegenüber den Werten mit der mittleren Feuchte F2 zu verzeichnen. Die vergleichbaren Werte für das EP1 zeigen dagegen einen ca. 40 %igen Haftfestigkeitsverlust. Für die UP-Harze liegen keine Vergleichswerte vor, da eine Klebung auf starkfeuchtem Untergrund von den Herstellern selbst abgelehnt wird. Hier wurde daher nur für UP1 die Variation F2 und F3 durchgeführt mit dem Ergebnis, daß die gedarrten Versuchskörper (F3) sowohl für die Schubdruckfestigkeit als auch für die Schubhaftfestigkeit geringfügig bessere Werte lieferten. Insgesamt wird festgestellt, daß allgemein eine Verklebung von ZB mit RHM umso besser ist, je trockener die Verbundfuge ist, daß es aber auch möglich ist, durch den Einsatz speziell formulierter EP-Harze eine zumindest annähernd gute Verklebung zu erzielen.

6.4.4. Temperatur

Folgende Temperaturbereiche haben möglicherweise Einfluß auf die Verbundfestigkeit:

- a) Die Temperatur liegt beim Klebevorgang erheblich unterhalb der Raumtemperatur im Bereich von ca. 5 - 10 °C.
- b) Die Temperatur übersteigt nach dem Kleben die Raumtemperatur und erreicht Werte über 50 °C.
- c) Temperaturen unter dem Gefrierpunkt.

Im Fall a) muß allgemein mit einer etwas geringeren Haftfestigkeit gerechnet werden als bei einer Verklebung unter Raumtemperatur. Dieser Mangel läßt sich aber wie hier durch Wahl geeigneter Harze und auf diesen Temperaturbereich abgestellter Härtungssysteme, häufig in Verbindung mit Feuchtigkeitsunempfindlichkeit, kompensieren, so daß der Verlust an Haftfestigkeit vernachlässigbar klein gehalten werden kann und deshalb nicht weiter untersucht zu werden braucht.

Bei Temperaturen oberhalb 50 °C muß im allgemeinen mit einem Festigkeitsabfall gerechnet werden. Daher wurden auch Untersuchungen an Prüfkörpern mit Temperaturen von 60 °C vorgenommen.

Damit wurden folgende Temperaturen bei den Versuchen berücksichtigt:

$T_{\text{kleb}} = 23\text{ °C}$, alle Körper werden bei dieser Temperatur verklebt

$T_{\text{prüf}} = 23\text{ °C}$, Prüftemperatur für alle Variationen von Oberflächen und Feuchte

$T_{\text{prüf}} = -10\text{ °C}$ und $+60\text{ °C}$ bei Oberfläche O2 und Feuchte F2

Die Versuchsergebnisse sind in Bild 25 und Tabelle 15 dargestellt. Sie bestätigen im Falle des EP1 den erwarteten Verlauf - Festigkeitssteigerung bei sinkenden Temperaturen, Festigkeitsverlust bei steigenden Temperaturen -, während bei den untersuchten Probekörpern mit UP1 für die Variation $+60\text{ °C}$ eine Festigkeitssteigerung gegenüber den Versuchen mit 23 °C festzustellen ist. Dies ist vermutlich auf eine Nacherhärtung durch Erwärmung während der Lagerung im Klimaschrank zurückzuführen. Daraus darf nicht geschlossen werden, daß beim Einsatz von UP-Mörteln unter ständiger hoher Wärmebelastung bessere Verbundfestigkeiten zu erzielen sind als etwa bei Raumtemperaturen. Für einen echten Vergleich müßten auch die Probekörper für die Variationen -10 °C und $+23\text{ °C}$ zuvor mit $+60\text{ °C}$ getempert werden.

6.4.5. Temperaturwechsel

6.4.5.1. Versuchsziel

Im Freien genutzte Bauwerke wie Massivbrücken sind tages- und jahreszeitlich wechselnden unregelmäßigen Temperaturschwankungen ausgesetzt. Dabei ändert sich die Temperatur in der Regel vergleichsweise langsam. Die Extremwerte der Lufttemperaturen liegen bei ungefähr $- 30^{\circ}\text{C}$ und $+ 50^{\circ}\text{C}$.

Infolge des deutlich unterschiedlichen Temperaturkoeffizienten von Reaktionsharzmörteln und Zementbeton kommt es beim Zusammenwirken dieser Materialien zu Eigenspannungen im Bereich der Kontaktfuge, wodurch die Haftfestigkeit u.U. beeinflußt werden kann.

Zur Abschätzung der Größenordnung dieser Festigkeitsminderung sollten Probekörper ersatzweise für die Dauer eines Monats einem periodischen Temperaturprogramm mit schnellen Temperaturänderungen unterworfen werden, wobei davon ausgegangen wird, daß sich hierdurch zumindest ebenso ungünstige Auswirkungen ergeben wie bei einem Langzeitversuch unter Umweltbedingungen mit entsprechend langsam ablaufenden Temperaturänderungen.

6.4.5.2. Versuchskörper

Da die Temperaturwechsel programmgesteuert in einer räumlich und tragfähigkeitsmäßig begrenzten Klimakammer erfolgen sollten, mußte die Anzahl der Versuchskörper gegenüber den vorausgehenden Parameterstudien eingeschränkt werden, um den Zeitaufwand zu begrenzen. Die Untersuchung wurde deshalb nur an Scherkörpern mit einer mittleren Feuchte F2 der Betonteile durchgeführt. Die betonseitig vorhandenen Oberflächen sollten jeweils ursprünglich bruchrauh sein und dann - wie in der Praxis üblich - zur Beseitigung möglicher Verunreinigungen bzw. nicht festhaftender Betonreste unmittelbar vor dem Ergänzen gesandstrahlt werden. In dieser Weise war beabsichtigt, eine Oberflächenstruktur zwischen O1 und O2 nach Abschnitt 6.4.2 einzustellen.

Eine bruchrauhe Oberfläche wurde erzielt, indem vollständig aus Beton hergestellte Scherkörper nach siebentägiger Wasserlagerung mittels seitlich auf die Scherflächen aufgebrachtener Kerbbeanspruchungen in zwei mit RHM ergänzbare Teile gespalten wurden. Infolge eines unplanmäßig im Betonzuschlag enthaltenen Über-

kornanteils (≥ 16 mm) zeigten sich dabei jedoch deutlich unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheiten. Nach Augenschein ließen sich die Betonteile auch nach dem Sandstrahlen noch in drei Gruppen von je vier Körpern mit grober, mittlerer und gleichmäßiger Oberflächenstruktur einteilen. Mit jedem der vier ausgewählten RHM wurde ein Betonkörper aus jeder Gruppe ergänzt, um hierdurch zusätzlich die Möglichkeit zu schaffen, gegebenenfalls signifikante, mit der Oberflächenbeschaffenheit zusammenhängende Auswirkungen zu beobachten.

6.4.5.3. Temperaturbelastung

Nach siebentägiger Aushärtungsdauer des RHM wurden die Versuchskörper in drei Gruppen in einem Klimaprüfschrank mit Programmregelung (Brabender Realtest, Typ USP 250/30 N) folgendem Temperaturprogramm ausgesetzt:

Nach einer fünfstündigen Lagerungsdauer bei einer Klimaraumtemperatur von $+ 40^{\circ}\text{C}$ wurde diese innerhalb einer Stunde auf $- 20^{\circ}\text{C}$ gesenkt und nach ebenfalls fünfstündiger Dauer wieder innerhalb einer Stunde auf $+ 40^{\circ}\text{C}$ angehoben. Die Temperaturwechsel erfolgten über einen Zeitraum von 30 Tagen, so daß insgesamt 60 Perioden gefahren wurden. Zur Ausschaltung eines möglichen Einflusses der relativen Luftfeuchte wurde diese im positiven Temperaturbereich mit 65 % weitgehend konstant gehalten.

6.4.5.4. Bruchversuch und Ergebnisse

Nach Ablauf von 60 Perioden wurden die Versuchskörper bei einer Klimaraumtemperatur von 23°C aus dem Klimaschrank genommen und im Scherversuch die Haftfestigkeit bestimmt. Sie ist zusammen mit der jeweils erreichten Traglast in Tabelle 16 angegeben und der Ausgangsfestigkeit nach Tabelle 12 gegenübergestellt. Dabei wurde für mittlere Oberflächenbeschaffenheit näherungsweise das arithmetische Mittel von O1 und O2 zugrunde gelegt.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Bindung von EP-Mörteln bei Vorhandensein gleichmäßiger und mittlerer Oberflächenbeschaffenheit keiner nennenswerten Beeinträchtigung durch die eingeprägten Temperaturwechsel gegenüber dem Verhalten bei $T = \text{const.} = 23^{\circ}\text{C}$ unterliegt. Eine Erklärung dafür, daß dies bei besonders ungleichmäßiger Oberfläche nicht der Fall war und sich hier eine geringere Festigkeit ergab, kann folgendermaßen gegeben werden: Die Ungleichmäßigkeit der Oberfläche war zum Teil auf herausragende größere Zuschlagkörner zurückzuführen, deren Oberfläche jedoch vergleichsweise glatt war und auch durch Sandstrahlen nicht aufgeraut wurde. Die Haftfestigkeit des Reaktionsharzes an einer glatten Oberfläche ist jedoch i.a. geringer als an einer rauhen Oberfläche.

Bei UP-Mörtelergänzungen konnten hingegen - bezogen auf die Oberflächenbeschaffenheit - nahezu gleichmäßige Festigkeitseinbußen festgestellt werden.

Während bei UP1 die Restfestigkeit nur 20 - 30 % der ursprünglichen betrug, lag sie bei UP2 für mittlere und grobe Beschaffenheit der Oberfläche bei 40 % der Vergleichswerte. Für den Versuchskörper mit besonders gleichmäßiger Oberfläche war hierbei eine Festigkeitsbestimmung nicht möglich, da er beim Herausnehmen aus dem Klimaschrank trotz vorsichtiger Hantierung zerbrach. Hier wurde die ohnehin geringe Haftfestigkeit (vgl. Tabelle 12) durch die eingeprägten Temperaturwechsel vollständig aufgezehrt.

Nach den Temperatúrausdehnungskoeffizienten der untersuchten Mörtel (Tabelle 10) war zu erwarten, daß sich für EP1 u. U. eine besondere Minderung der Haftfestigkeit durch Temperatureigenspannungen ergeben würde. Eine Beziehung zwischen der Temperaturempfindlichkeit der Haftfestigkeit und dem Verhältnis der Temperatúrausdehnungskoeffizienten von RHM und Beton war jedoch nicht festzustellen.

6.4.6. Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 17 sind alle Ergebnisse der Parameterstudie zusammenfassend dargestellt. Angegeben ist jeweils der Faktor k , um den die unter verschiedenen physikalischen Randbedingungen ermittelten Schubhaft- (β_T) und Schubdruckfestigkeiten β_{SD} von Vergleichswerten (τ_0 bzw. τ_1/σ_1) abweichen, die an einer monolithisch hergestellten und unter Raumklima geprüften Scherfläche eines ZB-Probekörpers (Tabelle 9) beobachtet wurden. Es gilt jeweils

$$\beta_T = k_T \cdot \beta_{T,0} \quad \text{bzw.}$$

$$\beta_{SD} = k_{SD} \cdot \beta_{SD,0}$$

Die Ergebnisse zeigen, daß nur mit EP2 hergestellte Mörtel bei Adhäsionsbindung an eine bruchraue Oberfläche (O1) unabhängig von der Feuchte unter $T = 23^\circ\text{C}$ die Haftfestigkeit der Vergleichsfuge erreichen. Bei mit EP1 gebundenen Mörteln lassen sich dagegen bei hoher Feuchte (F_1) nur ca. 40 - 65 % dieser Festigkeiten erzielen.

Die UP-Harze, die sich nach Herstellerangaben nicht zur Verwendung auf feuchtem Untergrund (F_1) eignen, zeigen unter sonst gleichen Bedingungen bei Feuchte F_2 und F_3 eine maximal 30 % geringere Schub-Haftfestigkeit und eine um 20 % geringere Schub-Druckfestigkeit als die Vergleichsfugen.

Sofern eine weitgehend homogene, gesandstrahlte Haftfläche vorlag, zeigten sich dagegen bei einer mittleren Feuchte (F_2) und $T = 23^\circ\text{C}$ für alle untersuchten RHM deutlich unter den Vergleichsfestigkeiten liegende Ergebnisse. Dabei war diese Minderung mit ca. 35 % bei EP-Mörteln weniger groß als bei UP-Mörteln. Dort wurden zum Teil nur noch 10 % der Festigkeiten der Vergleichsfuge ermittelt. So geringe Werte ergaben sich allerdings nur bei Verwendung von UP2. Mit UP1 konnten höhere Festigkeiten erzielt werden.

Bei niedrigen Temperaturen (-10°C) ließen sich auch mit einer homogenen Oberfläche (O2) Festigkeiten nahezu wie bei der Vergleichsfuge erzielen. Dies galt für alle untersuchten Reaktionsharzmörtel. Sofern hohe Temperaturen ($+60^\circ\text{C}$) vorlagen, ergab sich für alle Harze ein etwa gleichgroßer Festigkeitsabfall auf ca. 60 % der Vergleichswerte. Die dabei für UP-Mörtel im Vergleich zu Normaltemperaturbedingungen vergleichsweise hohe Tragfähigkeit ist nur durch eine wärmebedingte Nacherhärtung zu erklären. Eine generell höhere Festigkeit bei höherer Temperatur kann hieraus nicht abgeleitet werden.

Gegenüber ständig wechselnden Temperaturen erwiesen sich ungesättigte Polyester als besonders anfällig. Eine Verwendung solcher Systeme bei häufig wechselnden Klimaeinflüssen kann nach den hier beobachteten Ergebnissen auch bei deutlich verminderten Anforderungen an die Haftfestigkeit nicht empfohlen werden. EP-Systeme erweisen sich dagegen gegenüber Klimaeinflüssen deutlich weniger empfindlich.

7. Dauerhaftigkeit von Reaktionsmörtelergänzungen auf Beton

7.1. Versuchsziel

Nach den Parameterstudien in Abschnitt 6 sollte überprüft werden, wie weit die an Scherkörpern erzielten Haftfestigkeiten auf anwendungsorientierte Ergänzungen von RHM übertragbar sind. Dabei war insbesondere zu klären, ob die Verbindung RHM-Beton dauerhaft gegenüber einer Schwellbeanspruchung ist bzw. ob sich eine Belastung dieser Art festigkeitsmindernd auswirkt. Da erwartet werden konnte, daß die Gefahr einer Schädigung mit steigender Last stark zunimmt, sollte eine deutlich über der Gebrauchslast liegende Oberlast von $F^0 \approx 1,30$ zu F gewählt werden, um fehlerhaften Einschätzungen des Werkstoffverhaltens sowie stets möglichen Ausführungsmängeln unter Baustellenbedingungen Rechnung zu tragen.

Die Untersuchungen sollten an Balken durchgeführt werden, deren Tragfähigkeit durch eine nachträglich aufgemörtelte Druckplatte aus RHM vergrößert wurde. Sie sollten sich nur in bezug auf die Oberflächenbehandlung der Kontaktflächen des Betons unterscheiden, um zusätzlich spätere Rückschlüsse hinsichtlich einer besonders effektiven Vorbehandlung großflächiger Ergänzungen zu ermöglichen.

Ursprünglich wurde beabsichtigt, diese Balken wie die Serie L1 - L10 (Abschnitt 5) zur Überprüfung der Dauerhaftigkeit der Adhäsionsbindung unter Dauerlast im Freien zu beobachten. Da jedoch angesichts der begrenzten finanziellen Mittel nur eine geringe Balkenanzahl untersucht werden konnte, wurden keine besonders signifikanten Ergebnisse erwartet. Als vergleichbar aussagekräftig wurde die Untersuchung an Scherkörpern unter wechselnden Temperaturen angesehen (Abschnitt 6.4.5) und demzufolge auf die Durchführung von Langzeitversuchen an ergänzten Balken verzichtet. Kriechverformungen, die dabei hätten beobachtet werden können, lassen sich ohnehin exakter an speziellen Probekörpern feststellen, da dort eine eindeutige Relation zwischen Dehnung und erzeugender Last hergestellt werden kann, ohne daß andere Einflüsse stören. Über Kriechversuche an Probekörpern aus RHM wird in Abschnitt 8 berichtet.

7.2. Versuchsbalken

Für die Untersuchung wurden insgesamt vier Balken mit gleichen Abmessungen und gleicher Bewehrung hergestellt:

Die Balken, E1 bis E3, mit einem Rechteckquerschnitt aus Beton ($b/d = 12/22$ cm) wurden nach siebentägiger Feuchtlagerung und eintägiger Lagerung unter Normklima (23°C , 65 % rel. Luftfeuchte) durch eine aufgemörtelte RHM-Platte ($b/d = 40/6,5$ cm) zu einem Plattenbalkenquerschnitt ergänzt. Der vierte Balken, EO, wurde in einem Guß aus Beton mit Plattenbalkenquerschnitt hergestellt. Er sollte Vergleichszwecken dienen.

Alle Schalplanmaße und die Bewehrungsführung sind in Bild 26 angegeben. Zur Sicherstellung eines Versagens in der Haftpuge bzw. zur Vermeidung anderer vorzeitiger Versagensursachen wurde die Bügelbewehrung so bemessen, daß eine Schubbeanspruchung in Haftfestigkeitsgröße (vgl. Tabelle 9) aufgenommen werden kann. Als Bemessungswert wurde vorsichtig

$$\tau = 5,5 \text{ N/mm}^2 \quad \begin{array}{ll} > 5,2 & \text{(Haftfestigkeit)} \\ < 2,1 \cdot 3,0 = 6,2 & \text{(Schrägdruckbruch DIN 1045)} \end{array}$$

zugrunde gelegt. Auf diese Beanspruchungsgröße wurde auch die Biegezugbewehrung ausgelegt.

Die Bügelbewehrung aller Balken endete unmittelbar unter der Druckplatte; die Verhältnisse waren demnach so gewählt, wie sie sich bei einem zu ergänzenden Bauteil gewöhnlich darstellen. Somit war allerdings nicht zu erwarten, daß in der Kontaktfuge jeweils eine Schubbeanspruchung in Höhe der reinen Haftfestigkeit aufgenommen werden kann. Bei der vergleichsweise geringen Bauhöhe der Balken erfolgte die Verankerung der Bügelkräfte vornehmlich über die Winkelhaken und weniger über Verbundspannungen. Somit entstanden direkt unter der Haftpuge Ablösebeanspruchungen, wodurch die Schubtragfähigkeit der Klebefuge vermutlich vermindert wurde. Hinzu kam noch eine weitere Beanspruchung senkrecht zur Haftpuge dadurch, daß die Lasteintragung indirekt - über seitliche Konsolen - erfolgte und somit die Last in die Biegedruckzone aufzuhängen war. Diese Belastungsart wurde gewählt, da sich bei einem Vorversuch mit direkter Lasteintragung deutlich zeigte, daß durch einen vertikalen Druck auf die Haftpuge bei den vorliegenden Versuchskörperabmessungen ein ungewöhnlich hohes Tragvermögen erzielbar ist. Bei Bauteilen mit größeren Schlankheiten l/h wäre dieser günstige Einfluß der Versuchseinrichtung nicht zu erwarten. Die mit direkter Lasteintragung gewonnenen Ergebnisse wären somit nicht allgemein übertragbar, während bei indirekter Belastung weitgehend gewährleistet ist, daß die erzielten Fugenfestigkeiten auf der sicheren Seite liegende Mindestfestigkeiten darstellen.

Zur Abschätzung der Größenordnung der Haftfestigkeitsminderung infolge des Fehlens einer durchgehenden Aufhängebewehrung wurden in Versuchsbalken E3 neben den Konsolen seitlich U-Profile aus St 37 an den Betonsteg geklebt (vgl. Bild 27). Als Kleber wurde dabei das Reaktionsharzsystem der RHM-Platte verwendet. Die U-Profile binden mit dem oberen Flansch in die RHM-Platte ein; die unteren Flansche der gegenüberliegenden Profile wurden unter dem Balken mittels einer geschraubten Lasche zugfest verbunden. Hierdurch sollte sichergestellt werden, daß nicht systembedingte Zugspannungen zwischen aufgeklebter "Bewehrung" und dem Beton zu einem frühen Versagen der Klebefuge führen [28].

Als Betongüte wurde bei allen Balken B25 angestrebt. Aus Tabelle 18 ist zu ersehen, daß jeweils deutlich höhere Festigkeiten erreicht wurden. Sie lagen zwischen B30 und B40. Für die Reaktionsharzmörtelergänzungen wurden wieder die Rezepturen nach Tabelle 8 gewählt. Bei den Balken E1 und E2 kam das EP-System Araldit BY 154 und bei dem durch aufgeklebte Bewehrung verstärkten Balken E3 das EP-System Euresyst 851 zur Anwendung.

Zur Verdeutlichung des Einflusses unterschiedlicher Vorbehandlungen der Betonoberflächen auf die Haftfestigkeit bei nunmehr großflächigen Ergänzungen wurden bei den Balken E1 und E3 die Oberfläche der Betonstege gesandstrahlt, während bei Balken E2 eine steinmetzartige Vorbehandlung der Kontaktfläche erfolgte.

7.3. Versuchsdurchführung

Da bei den geschilderten ungünstigen Zusatzbeanspruchungen der Haftfuge keine Möglichkeit bestand, die zu erwartende Tragfähigkeit der Balken rechnerisch zu bestimmen, wurde eine versuchstechnische Ermittlung gewählt. Zu diesem Zweck wurde die Tragfähigkeit des Vergleichsbalkens EO in einem Bruchversuch geprüft, wobei die Last stufenweise gesteigert wurde. Hierdurch bestand die Möglichkeit, Veränderungen im Tragverhalten durch Dehnungs- und Formänderungsmessungen zu registrieren.

Die verwendete Belastungseinrichtung ist in Bild 27 dargestellt. Die Durchbiegungen wurden mit Meßuhren bestimmt, deren Anordnung gleichfalls in Bild 27 angegeben ist. Dort ist auch die Lage der Dehnungsmeßstreifen und Setzdehnungsmarken für die Dehnungsmessungen dargestellt. Ein möglicher Schlupf zwischen Steg und Platte wurde durch Anordnung der Meßuhren 1 bis 6 überprüft.

Von den mit RHM ergänzten Versuchsbalken wurde nach den Parameterstudien in Abschnitt 6 erwartet, daß sie bei hinreichender Vorbehandlung der Kontaktfläche die gleiche Tragfähigkeit erreichen wie der monolithisch betonierte Balken. Dementsprechend wurde die Gebrauchslast der Balken E1 bis E3 aus der Bruchlast des Balkens EO bestimmt, indem diese durch den Sicherheitsbeiwert $\gamma = 2,1$ (nach DIN 1045 für Bruch ohne Vorankündigung) dividiert wurde, da das Versagen von EO schlagartig durch Ablösen der Druckplatte erfolgte.

Nach jeweils siebentägiger Aushärtungsdauer der RHM-Platte wurden die ergänzten Balken folgender Belastungsgeschichte unterworfen, wobei die Belastungseinrichtung wie beim Vergleichsbalken EO verwendet wurde.

- Stufenweise Laststeigerung bis auf $F = 1,15 \cdot \text{zul } F = 72 \text{ kN}$
- 100.000 Lastwechsel zwischen $F^u = 0,6 \cdot \text{zul } F \approx 36 \text{ kN}$ und $F^o = 1,3 \cdot \text{zul } F = 80 \text{ kN}$
- Stufenweise Laststeigerung bis zum Eintreten des Bruches.

Auch bei den ergänzten Balken E1 bis E3 wurde für alle Standlaststufen vor der Schwellbeanspruchung nach 10.000, 40.000 und 100.000 Lastwechseln sowie zu allen Zwischenlaststufen der Bruchversuche der Formänderungszustand gemessen, um zwischenzeitliche Tragverhaltensänderungen zu erkennen.

7.4. Ergebnisse

Die im einzelnen erreichten Bruchlasten sowie die Rechenwerte der Schubbeanspruchung in der Haftpuge zum Zeitpunkt des Versagenseintritts sind zusammen mit Angaben über die unterschiedliche Balkenausbildung aus Tabelle 19 zu entnehmen.

Es wird deutlich, daß die ergänzten Balken ohne Bewehrung zur Aufhängung der indirekt eingetragenen Belastung in die Druckzone, E1 und E2, die gleiche Tragfähigkeit erreichten, wie der monolithisch hergestellte Balken, obwohl sie zwischenzeitlich einer Schwellbeanspruchung mit einer deutlich über der Gebrauchslast liegenden Oberlast ausgesetzt wurden. Die Schwelllast hatte demnach keine besonderen haftfestigkeitsmindernden Auswirkungen. Die Balken E1 und E2 unterschieden sich auch nicht in der Bruchart von der des Vergleichsbalkens EO. Das Versagen wurde jeweils durch ein Ablösen der Druckplatte in Feldmitte, also

in Höhe der indirekten Lasteintragung eingeleitet. Mit zunehmender Balkenverformung wurde die Platte auf einer Balkenhälfte vollständig abgeschält.

Die Schubspannung zum Zeitpunkt des Versagens lag deutlich unter der Haftfestigkeit nach Tabelle 10. Der Ablauf des Bruches bestätigte die naheliegende Vermutung, daß die fehlende Aufhängebewehrung Ursache des vorzeitigen Versagens war.

Für Balken E3 ergab sich als Folge der aufgeklebten und in der Druckplatte zusätzlich verankerten Bewehrung eine um $\sim 50\%$ vergrößerte Tragfähigkeit gegenüber den anderen drei Versuchsbalken. Auch hier trat jedoch bereits bei einer noch deutlich unter der Haftfestigkeit liegenden Schubspannung ein Versagen des Balkens ein. Es wurde durch ein Ablösen der Platte neben der "Aufhängebewehrung" eingeleitet und lief im übrigen ab wie bei den anderen Balken. Ein abschließender Bruch der RHM-Platte ergab sich dadurch, daß die Platte auf Biegung beansprucht wurde, nachdem sie sich auf einer Balkenseite vom Steg gelöst hatte. Diesem Bruch kommt für das eigentliche Versagen nur sekundäre Bedeutung zu.

Nach dem Abbau der Zuglaschen zur zugfesten Verbindung der unteren Flansche der gegenüberliegenden aufgeklebten U-Profile wurde auf der Seite, wo sich die Druckplatte abgelöst hatte, ein Versagen der Klebeverbindung im unteren Läschenbereich festgestellt. Demnach ist das Versagen von Balken E3 vor Erreichen der Haftfestigkeit sicher u. a. auf ein frühzeitiges Versagen der Aufhängebewehrung zurückzuführen.

Die im Verlauf des Versuchs aufgezeichneten Dehnungs- und Durchbiegungsmeßwerte sind in Anlage 4 angegeben. Aus ihnen lassen sich Rückschlüsse auf Veränderungen des Tragverhaltens infolge einer Schwellbeanspruchung ziehen.

Als Vergleichswert für eine Gegenüberstellung der Randfaserstauchungen auf der Biegedruckseite sind in Bild 28 die aufsummierten Ergebnisse der Meßstellen 44 bis 47 in Abhängigkeit von der erzeugenden Last für alle Balken grafisch dargestellt, und zwar bei den ergänzten Balken sowohl für die Erstbelastung als auch für den Bruchversuch nach einer zwischenzeitlich aufgebrachten Schwellbeanspruchung. Die Ergebnisse der Meßstellen 41 bis 43 und 48 bis 60 wurden nicht in die Darstellung einbezogen, da sie aufgrund ihrer geringeren Beträge

durch Meßungenauigkeiten vermutlich stärker verfälscht sind und somit für eine qualitative Beurteilung des Balkenverhaltens keine wesentlichen Maßstäbe setzen.

Bei den Balken E1 und E2 zeigte sich jeweils nur eine geringe Auswirkung der Schwellbeanspruchung auf die Größe der Randfaserstauchung. Die geringen zu beobachtenden Abweichungen hängen dabei vornehmlich mit einer nach dem Schwellen im unbelasteten Zustand verbleibenden Reststauchung zusammen. Ihre Ursache liegt sicher vorwiegend in dem nicht elastischen Werkstoffverhalten der Biegedruckzone. Bei einer Wertung der geringen verbleibenden Stauchungen zur Unterscheidung des Tragverhaltens der einzelnen Balken ist jedoch zu berücksichtigen, daß bei den vergleichsweise geringen Meßwerten ein hoher prozentualer Fehler infolge ungenauer Messung vorhanden sein kann.

Beim Balken E3, der durch eine Aufhängebewehrung verstärkt war und dessen RHM-Platte anders als bei den Balken E1 und E2 aus EP1-Mörtel bestand, zeigt sich hingegen eine sehr erhebliche Auswirkung der Schwellbeanspruchung. Die bleibende Verformung im unbelasteten Zustand liegt deutlich über der der anderen Versuchsbalken. Nach den Ergebnissen der Kriechuntersuchungen an Probekörpern (Abschnitt 8) läßt sich diese Erscheinung eindeutig auf die bei einem EP1-Mörtel vergleichsweise sehr hohen Kriechverformungen zurückführen.

Auf der Biegezugseite war dieses Verhalten nicht in gleicher Weise festzustellen (vgl. Bild 29). Die Faserdehnungen im Bereich der äußeren Meßketten unterschieden sich nicht signifikant, und zwar galt dies hier auch für den Versuchsbalken E3. Als Vergleichswert wurde dabei das arithmetische Mittel aus der Summe der Meßergebnisse der beiden gegenüberliegenden Meßketten gewählt. Allerdings wurden die Meßwerte 4 - 6 und 74 - 76 nicht einbezogen, da sie zum Teil bei Balken E3 wegen der Aufhängebewehrung entfallen oder zumindest verschoben werden mußten.

Die Abweichung der Meßergebnisse vor und nach dem Schwellen, die besonders für Balken E2 auffällt, ist vornehmlich auf eine unterschiedliche Rißbildung und entsprechende Steifigkeitsänderungen zurückzuführen. Die im unbelasteten Zustand verbleibenden Dehnungen hängen ebenfalls mit den zwischenzeitlich entstandenen Rissen zusammen, die sich im entlasteten Zustand nicht wieder schließen, da sich die Rißufer durch Schubverformungen gegeneinander verschoben haben und sich zusätzlich Betonpartikel zwischen den Rißufern verkeilen.

In Bild 30 sind die Längenänderungen am Übergang vom Betonsteg zur RHM-Platte in Abhängigkeit von der erzeugenden Last angegeben. Die Vergleichswerte wurden für diese Balkenfasern analog zum Zugrand festgelegt. Entsprechend der Lage der Meßketten zueinander und der Art der Balkenbeanspruchung ergaben sich naturgemäß am Steganschnitt kleinere Stauchungen als am Plattenanschnitt. Für die Balken E1 und E2 konnte wie am Druckrand (Bild 28) auch hier kein deutlicher Einfluß der Schwellbeanspruchung beobachtet werden. Am Balken E3 traten bereits bei Erstbelastung vergleichsweise größere Stauchungen auf. Nach dem Schwellen ergaben sich im unbelasteten Zustand sogar höhere Stauchungen als zuvor unter der Maximallast von 76 kN festzustellen waren, und zwar galt dies sowohl für den RHM-seitigen Anschnitt als auch für den Steganschnitt. Diese deutliche Erhöhung der Druckbeanspruchung des Steges an der Haftfuge hängt wieder mit dem besonderen Kriechverhalten des verwendeten Reaktionsharzsystems EP1 zusammen (vgl. Abschnitt 8): Das RH entzieht sich durch starke Kriechverformungen der ursprünglich eingepprägten Beanspruchung, und diese wird zum Teil auf den angrenzenden Beton umgelagert, was u. U. langfristig zu einer Überlastung führen könnte.

Bild 31 zeigt die beobachteten Durchbiegungen der Balken. Das anhand der gemessenen Längenänderungen erläuterte Tragverhalten wird hierdurch bestätigt. Die größten Verformungen zeigt der Balken E3. EO und E1 weisen nahezu identisches Verhalten auf, und zwar ohne deutlichen Einfluß des Schwellens bei E1. Bei Balken E2 fällt hier gleichfalls ein größerer Einfluß des Schwellens auf, der aber wohl weniger durch den RHM als durch eine stärkere Rißentwicklung und so bedingte Steifigkeitsänderung zu erklären ist, worauf bereits bei der Auswertung der Setzdehnungsmeßergebnisse am Zugrand hingewiesen wurde.

Die Meßuhren zur Beobachtung eventueller Verschiebungen zwischen RHM-Platte und Betonsteg an den Balkenenden wiesen bis zum Bruch keine Veränderungen auf. Die Ergebnisse sogenannter "Schlupfmessungen" an den Balkenlängsseiten sind in Bild 32 dargestellt. Die Grafen sind insgesamt stetig, was den Schluß zuläßt, daß auch hier bis zum Versagenseintritt kein echter Schlupf auftrat. Die beobachteten "Verschiebungen" zwischen RHM-Platte und Betonsteg sind demzufolge vermutlich im wesentlichen auf den Abstand von Meßuhrhalterung und Plattenunterkante zurückzuführen, d. h. meßtechnisch bedingt. Auch sie weisen jedoch das besondere Verhalten von RHM mit dem Bindemittel EP1 auf und lassen die geringere Steifigkeit von Balken E3 gegenüber den anderen Versuchsbalken EO bis E2 erkennen.

Zusammenfassend ist festzustellen:

Bei praxisnahen Ergänzungen der Druckzone biegebeanspruchter Betonteile durch RHM kann in der Regel nicht davon ausgegangen werden, daß die reinen Haftfestigkeiten nach Abschnitt 6 erreichbar sind, da sich oftmals zusätzliche Beanspruchungen der Schubbeanspruchung in der Haftpuge überlagern. Bei Verwendung eines geeigneten RHM-Systems mit Kriecheigenschaften wie der zu ergänzende Beton kann jedoch die Tragfähigkeit eines entsprechenden in einem Guß hergestellten Betonbauteils erreicht werden. Wie bei monolithischen Konstruktionen erfolgt dabei die Übertragung der Schubkräfte in der Kontaktfuge weitgehend schlupffrei. Eine solche Verbindung RHM-Beton ist dauerhaft gegenüber Schwellbeanspruchungen mit einer Oberlast in Höhe der Gebrauchslast, wobei diese gegebenenfalls durch die erreichbare Haftfestigkeit und einen Sicherheitsbeiwert $\gamma = 2,1$ zu begrenzen ist.

Stark kriechende RHM-Systeme sind für kraftschlüssige Sanierungen weniger geeignet. Durch das Kriechen entziehen sich solche RHM der eingepprägten Beanspruchung, so daß diese auf den Betonteil umlagert wird. Die Folgen sind in jedem Falle deutlich größere, mit der Zeit wachsende Verformungen; im ungünstigsten Fall kann eine vorzeitige Überlastung eintreten.

Durch Anordnung einer zusätzlichen zugfesten Verbindung zwischen RHM und Beton läßt sich zweifelsfrei eine höhere Haftfestigkeit erzielen.

8. Kriechversuche an Probekörpern aus Reaktionsharzmörteln

8.1. Allgemeines

Zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit einer Sanierungsmaßnahme, bei der Betonbauteile mit RHM ergänzt werden, ist es notwendig, das Kriechverhalten des RHM zu kennen. Es wäre zwecklos und u. U. gefährlich, ein Material zu verwenden, welches sich im Laufe der Zeit durch deutlich höhere Kriechverformungen als der angrenzende Beton einer ursprünglich eingepprägten Beanspruchung entzieht und somit wirkungslos wird:

Bei Verwendung stark kriechender Materialien zur Ergänzung von Betonfehlstellen hinter Spanngliedverankerungsplatten können z. B. Biegebeanspruchungen im Spannstahl erzeugt werden, wenn sich die Kraft von der ergänzten RHM-Fläche auf benachbarte Betonflächen umlagert. Bei vollständigen Querschnittsverstärkungen durch Aufbringen einer entsprechenden RHM-Schicht, z. B. wie nach Abschnitt 7, könnte sich der RHM durch besonders starkes Kriechen der Belastung entziehen; er wäre dann nur noch Ballast und würde, anstatt die Tragfähigkeit zu steigern, durch sein Eigengewicht die aufbringbare Nutzlast weiter vermindern.

8.2. Versuchsprogramm und -durchführung

Zur Abschätzung des Kriechverhaltens von Reaktionsharzmörteln sollten im Rahmen dieser Arbeit nur Tastversuche an wenigen Probekörpern durchgeführt werden.

Da sich nach den Versuchen in Abschnitt 6.4.5 gezeigt hatte, daß die Dauerhaftigkeit von Ergänzungen mit UP-Mörteln ohnehin wegen der Beeinträchtigung der Adhäsionsbindung durch wetterbedingte Temperaturwechsel beschränkt ist, wurden UP-Mörtel bei den Kriechversuchen vorerst ausgeklammert.

Geprüft werden sollte das Kriechverhalten der beiden Mörtel mit EP1 und EP2 nach Abschnitt 6 für zwei praxisnahe Ausnutzungsgrade. Da die ausgewählten EP-Systeme nach den vorausgegangenen Versuchen unterschiedliches Festigkeits- und Verformungsverhalten (vgl. E-Modul) aufwiesen, wurde erwartet, daß sich auch bei einer begrenzten Versuchskörperanzahl hieraus eine allgemeinere Aussage über das Kriechverhalten von EP-Mörteln ableiten ließe.

Für die Versuche standen zwei Kriechstände zur Verfügung, die gewöhnlich zur Bestimmung der Kriecheigenschaften von Zementbetonkörpern dienen. Die Lastaufbringung erfolgt dabei hydraulisch. Während der Versuchsdauer wird die Last durch den Gasdruck einer entsprechend gefüllten Preßluftflasche weitgehend konstant gehalten (Bild 33 und 34). Die Kriechstände befinden sich in einem Klimaraum bei + 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchte.

Die Probekörperabmessungen wurden so gewählt, daß vier Körper, und zwar zwei aus jedem EP-Mörtel, gleichzeitig in jedem Kriechstand geprüft werden konnten und außerdem ein Seitenverhältnis 1 : 4 eingehalten war. Verwendet wurden prismatische Versuchskörper mit den Abmessungen 10/10/40 cm. Um eventuelle Auswirkungen der besonderen Lage eines Körpers im Kriechstand auf die Größe der Kriechverformung erkennen zu können, wurden die Probekörper aus beiden EP-Mörteln in abwechselnder Folge übereinander angeordnet.

Nach einer Aushärtungsdauer von sieben Tagen unter gleichen klimatischen Bedingungen wie während der anschließenden Kriechversuche wurde die Dauerlast aufgebracht. In einem Kriechstand wurde dabei eine Beanspruchung von 10 N/mm², im anderen eine von 20 N/mm² erzeugt. Sie wurde somit zu 50 % bzw. 100 % der nach DIN 4227, Tabelle 6 für hochwertigen Beton unter Gebrauchslasten zulässigen Druckspannung gewählt, da hier zu prüfen war, wie weit sich EP-Mörtel nach ihren Kriecheigenschaften als Betonersatz eignen.

Parallel zu den Kriechversuchen wurde an je einem Probekörper mit gleichen Abmessungen der Einfluß des Schwindens untersucht.

Kriech- und Schwindverformungen wurden mittels Setzdehnungsmesser (Meßlänge: 20 cm) gemessen. Die Versuchsdauer betrug ca. 4 Monate.

8.3. Ergebnisse

Alle Meßwerte, Kriechen und Rückkriechen, sind in Anlage 5 zusammengestellt. In Bild 35 sind die gemessenen Stauchungen für alle Versuchskörper angegeben und den nach DIN 4227 rechnerisch bestimmbaren Kriechverformungen für einen Beton B 55 unter mittleren Umweltbedingungen gegenübergestellt.

Die untersuchten EP-Mörtel wiesen bemerkenswerte Unterschiede im Kriechverhalten auf. Die Stauchungen differierten nach einer Standzeit von 100 Tagen bei einer Dauerbeanspruchung von $\sigma = 10 \text{ N/mm}^2$ um ca. 600 % und bei $\sigma = 20 \text{ N/mm}^2$ bereits ca. 1400 %. Im Vergleich zum Kriechverhalten des Betons B 55 ergaben sich bei $\sigma = 20 \text{ N/mm}^2$ für EPM1 ca. fünffache Kriechverformungen, während EPM2 deutlich kleinere Werte als der Beton aufwies.

Eine Proportionalität zwischen den Kriechverformungen und der erzeugenden Dauerlast - wie sie beim Beton hinreichend genau zugrunde gelegt wird - konnte bei EP-Mörteln nicht immer beobachtet werden: Unter doppelter Last ergaben sich für EPM1 vierfache Formänderungen nach einer Standzeit von 100 Tagen. Für EPM2 unterschieden sich die Stauchungen unter 10 und 20 N/mm^2 hingegen um den Faktor 2.

Vom Zeitpunkt der Aufbringung der kriecherzeugenden Dauerlast, 7 Tage nach Herstellung der Probekörper, wurden parallel zur Messung der Kriechverformungen an unbelasteten Proben die Schwindverformungen gemessen. Aus den Meßwerten konnte für beide untersuchten Mörtel keine eindeutige Gesetzmäßigkeit abgelesen werden. Die Schwinddehnungen erreichten im Beobachtungszeitraum von 100 Tagen einen Maximalwert von 0,1 % und sind somit von gleicher Größe wie bei einem Beton B 55, der "allgemein im Freien" lagert. Es ist jedoch festzustellen, daß dieser Wert mit dem gewählten Meßverfahren nur vergleichsweise ungenau erfaßt werden konnte.

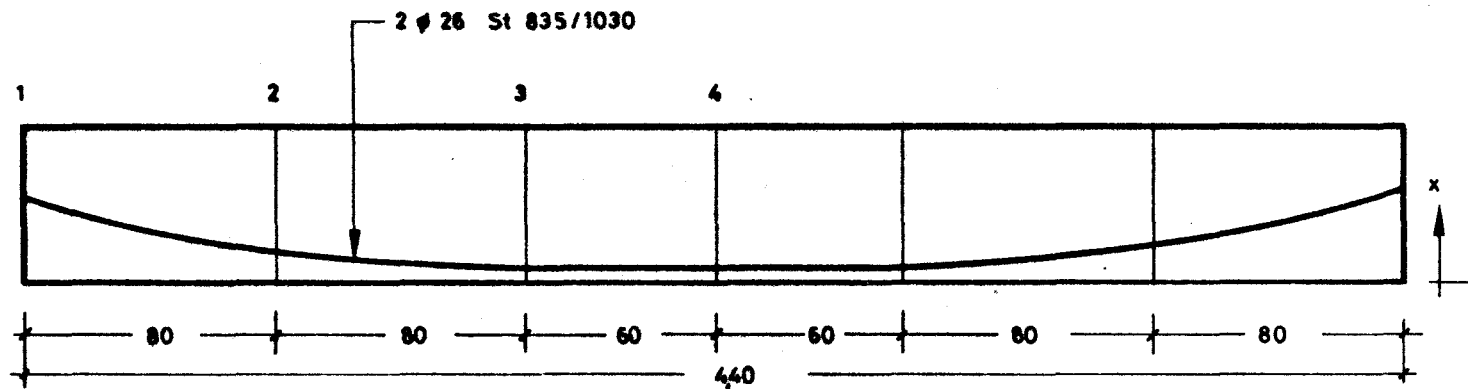
Insgesamt zeigten die Ergebnisse der Kriechversuche, daß Mörtel mit Epoxidharzen als Bindemittel quantitativ völlig unterschiedliches Kriechverhalten aufweisen können. Entsprechend sind sie nicht beliebig einsetzbar. Für eine statisch notwendige Ergänzung wäre z. B. EPM2 nach den vorliegenden Versuchsergebnissen besser geeignet, da er ein dem des Betons ähnlicheres Kriechverhalten aufweist. Der Mörtel EPM1 verhält sich hingegen vergleichsweise plastisch und eignet sich eher für Sanierungen, wo er nur zur Sicherstellung eines passiven Korrosionsschutzes der Bewehrung dienen soll.

9. Literaturverzeichnis

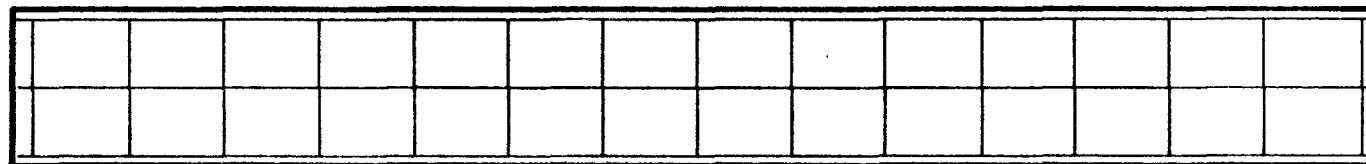
- [1] Alix, T.: Risseverpressung mit Kunstharz,
Bericht der Bauunternehmung Robert Kögel GmbH, Frankfurt
- [2] ACI Committee 503 Use of epoxy compounds with concrete.
ACI-Journal, September 1973.
- [3] Baumann, G.: Über die Eigenschaften von Kunststoffen und deren
Verarbeitung im Betonbau.
Der Bauingenieur, August 1965.
- [4] British Plastics Federation Ltd. Advisory note, a guide for the use of epoxide resins
with concrete for building and civil engineering.
- [5] Biederbick, K.: Kunststoffe.
Vogel-Verlag 1970.
- [6] Bruyne, N.A., de The strength of glued joints.
Structural advises, London 1951.
- [7] Basler, E., Verbindungen in der Vorfabrikation.
Witta, E.: Technische Forschungs- und Beratungsstelle der
schweizerischen Zementindustrie, 1966.
- [8] Chung, H.W.: Epoxy-repaired reinforced concrete beams.
ACI-Journal, Mai 1975.
- [9] Chung, H.W., Epoxy-repaired concrete joints.
Lui, L.M.: ACI-Journal, Juni 1977.
- [10] Chung, H.W., Epoxy-repaired concrete joints under dynamic loads.
Lui, L.M.: ACI-Journal, Juli 1978.
- [11] Cirodde, R.: Technique d'assemblage par collage.
Bullétin RILEM No 37, Dezember 1967.
- [12] Davies, P.E.: Epoxy resins and their uses in concrete.
Concrete, Januar 1970.
- [13] Eibl, J., Versuche mit Kunstharzmörteln.
Franke, L., Die Bautechnik, Oktober 1972.
Hjorth, O.:
- [14] Franz, G.: Betrachtungen zur Mechanik der Zusammenwirkung von
Beton und Kunststoffen.
Beton, Januar 1968.
- [15] Gad, W. Der Einfluß von Bestandteilen in Epoxidharzmörteln auf
deren Eigenschaften.
Kunststoffe im Bau, Oktober 1975.
- [16] Groche, F.: Polyestermörtel und Polyesterbeton.
Kunststoffe im Bau, 31/1973.

- [17] Hirschi, Th.: Die Verwendung von Epoxidharzen im Bauwesen.
Schweizer Archiv, Dezember 1965.
- [18] Hermite, R.L.: L'application des colles et résines dans la construction
Annales de l'Institut Technique du bâtiment et des
travaux public, November 1967.
- [19] Hugenschmidt, F.: New experiences with epoxies for structural applications.
Ciba - Geigy Ltd., Basel 1976.
- [20] Hugenschmidt, F.: Die Verwendung von Epoxidharzen im Hoch- und Tiefbau.
Ciba - Geigy Ltd., Basel 1978.
- [21] Kern, E., Dichten von Rissen mit Epoxidharz.
Hinrichsen, C.-H. Beton- und Stahlbeton, September 1969.
- [22] Meyer, H.G.: Die Anwendung von Epoxidharzen.
- [23] Rehm, G., Langzeitverhalten von Betonverklebungen mittels
Franke, L.: Reaktionsharzen.
Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben DAfStb. 1975.
- [24] Ruggenthaler, P.T.: Herstellung, Prüfung und Anwendung von Kunststoff-
beton.
Baustoffindustrie, Juni 1976.
- [25] Saechtling, H.: Bauen mit Kunststoffen.
Carl Hauser Verlag 1973.
- [26] Schorn, H.: Langzeitverhalten von Epoxidharzen im Betonbau.
Bericht des Instituts für Bauforschung, Aachen.
- [27] ACI Committee 503 Standard specification for repairing concrete with
epoxy mortars.
ACI-Journal, September 1978.
- [28] Tausky, R.: Deckenverstärkung durch Kunststoffklebetechnik.
Plasticonstruction, Juni 1976.
- [29] Werse, H.P. Epoxidharze, Anwendung im Beton- und Stahlbetonbau.
Betonwerk und Fertigteiltechnik,
Hefte 10, 11 und 12, 1974.
- [30] Zelger, C., Der Einfluß von Fugen auf die Festigkeit von Fertig-
Rüsch, H.: teilschalen.
Beton und Stahlbetonbau 1961.

10. B I L D E R Z U M S C H L U ß B E R I C H T



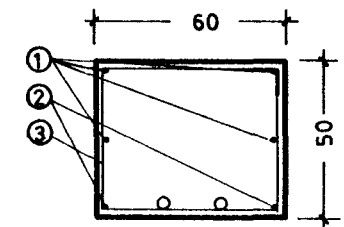
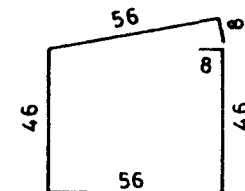
Spannstahl Ordinaten	27	10,5	5	5	5	10,5	27
-------------------------	----	------	---	---	---	------	----



$L = 4,30 \text{ m}$

① 4 # 12 $L = 4,30 \text{ m}$

② 2 # 14 $L = 4,30 \text{ m}$



③ 15 Bgl. # 6 $L = 2,20 \text{ m}$, $a = 30 \text{ cm}$

- 63 -

Bild 1 Schal - und Bewehrungsplan

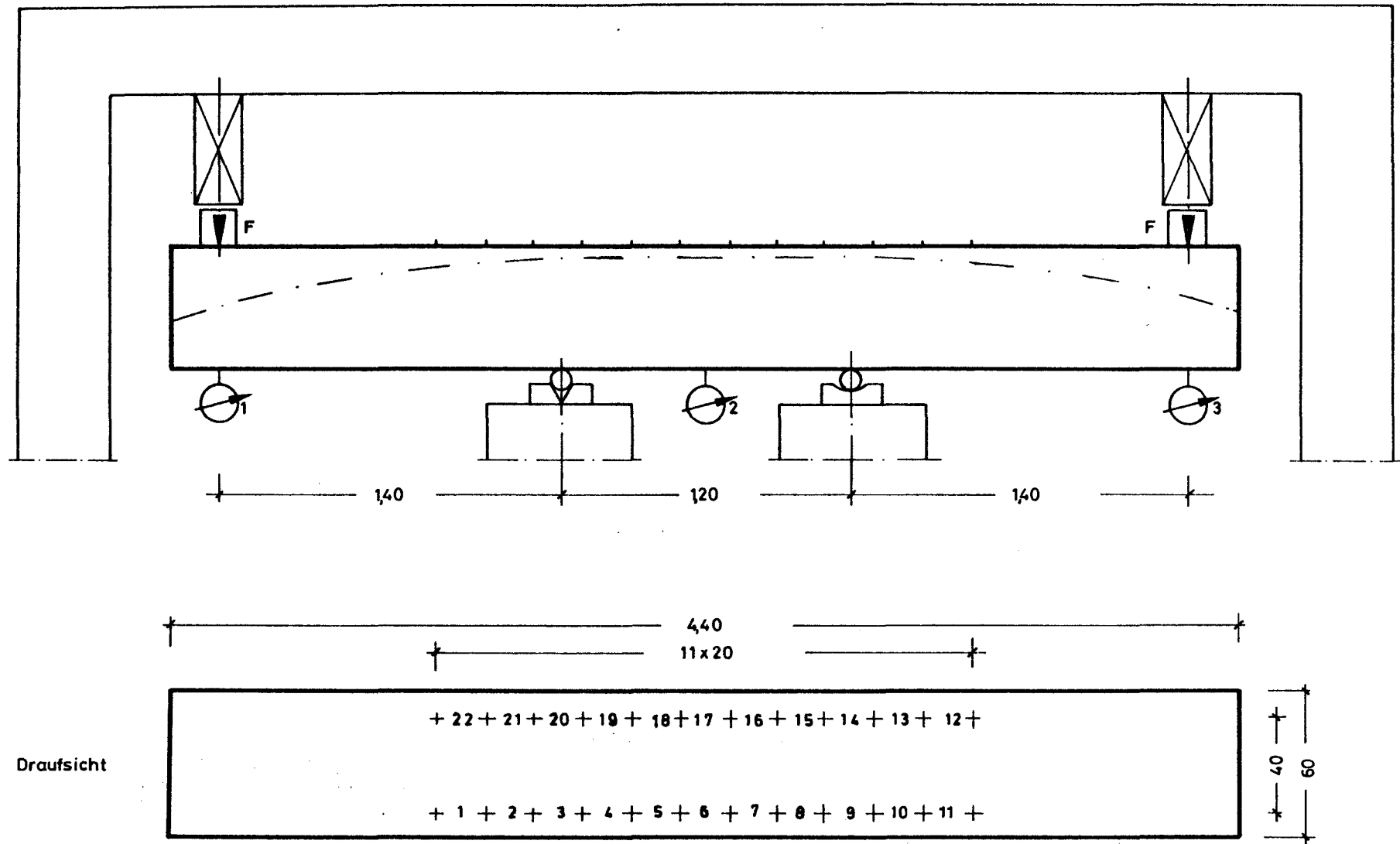
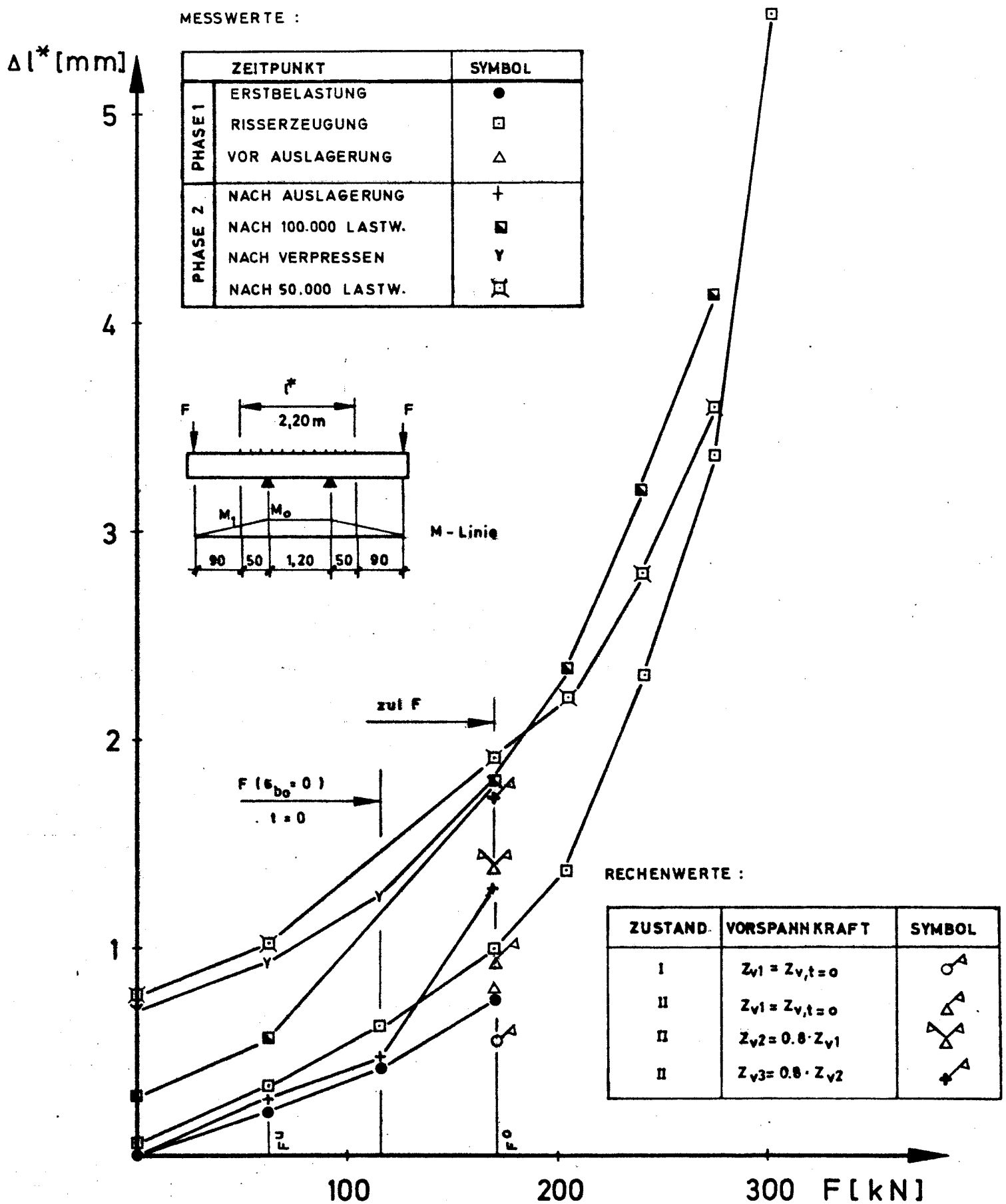


Bild 2 Belastungs - und Meßeinrichtung



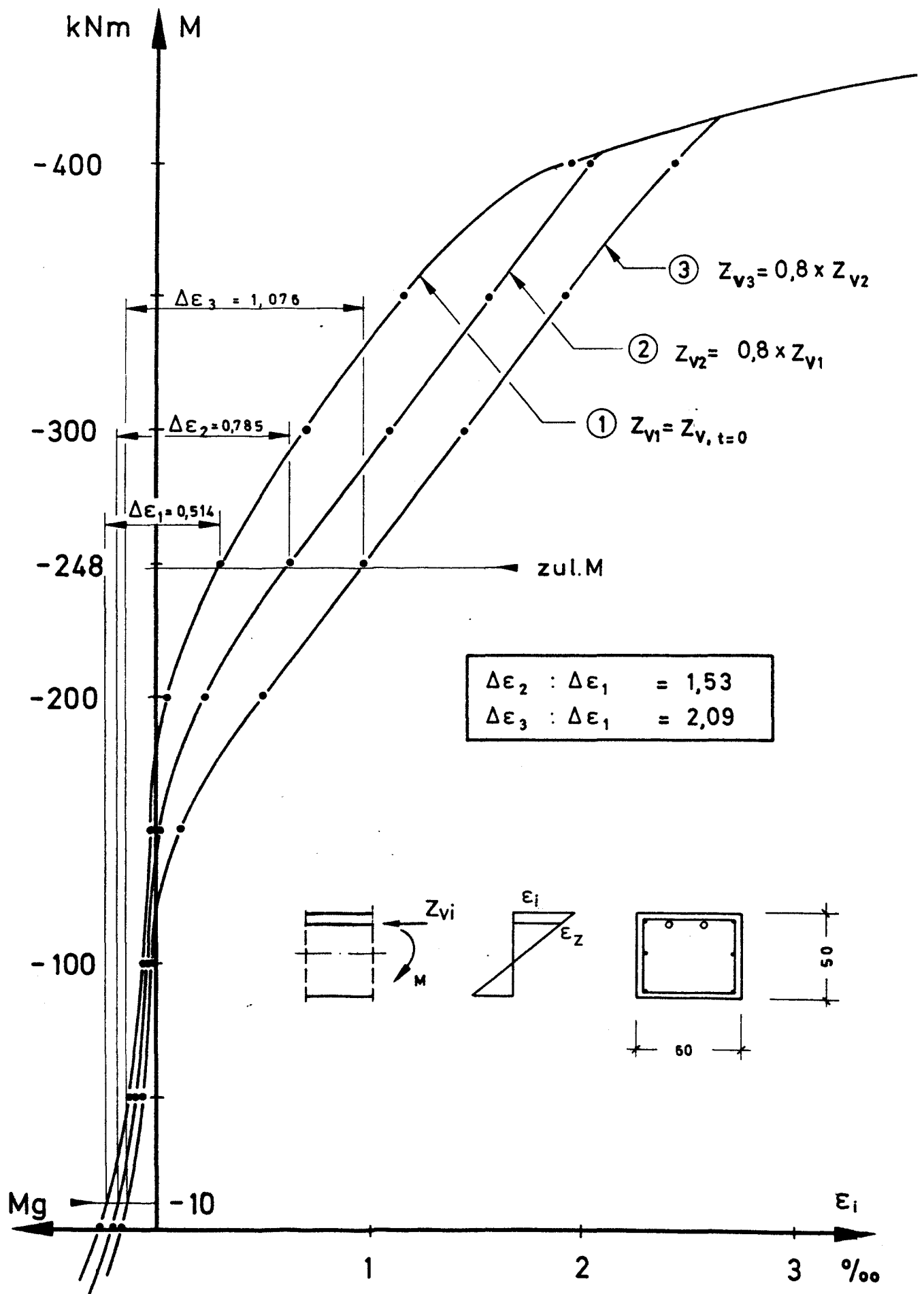


Bild 4: Zusammenhang zwischen M und Randfaserdehnung bei Vernachlässigung der Betonzugfestigkeit

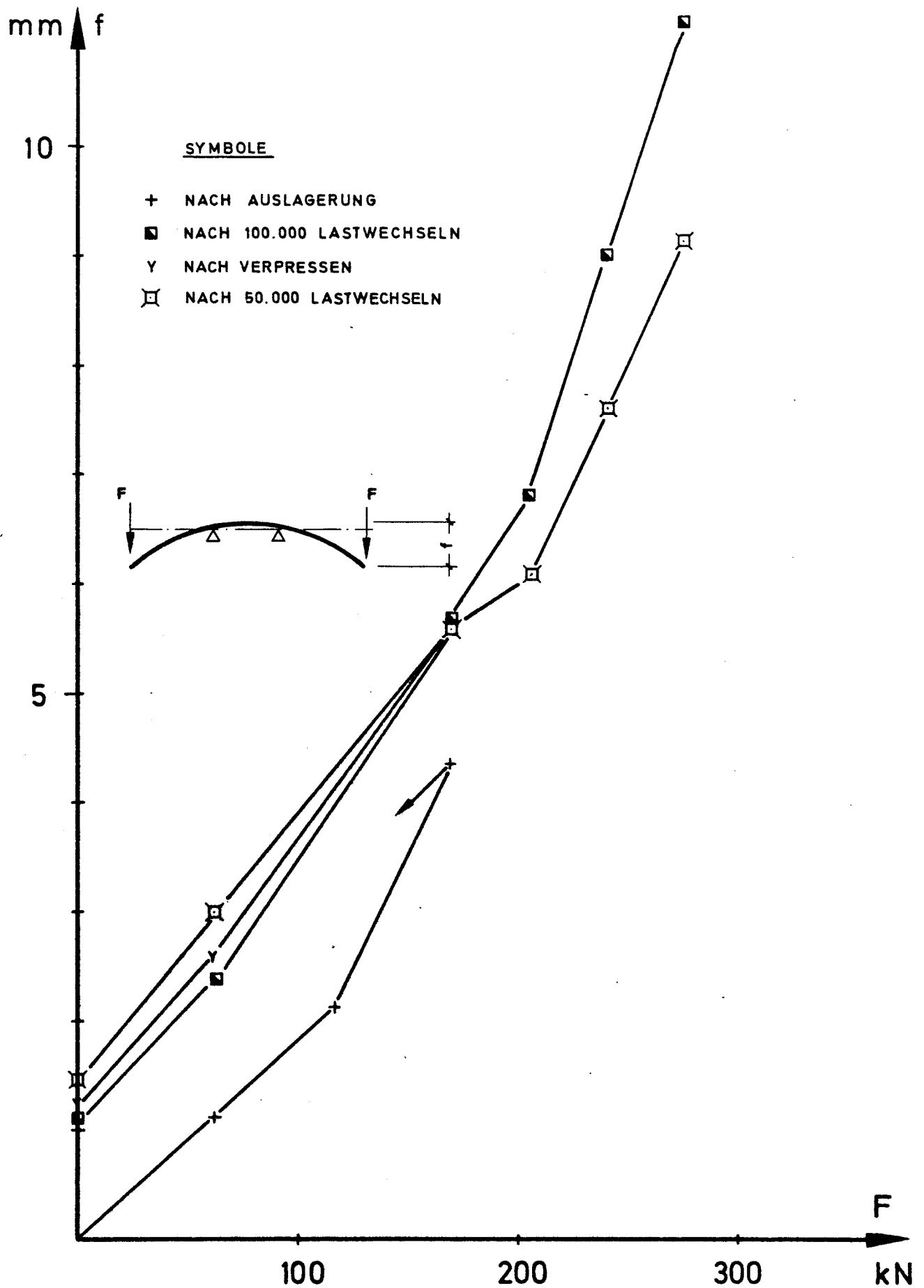
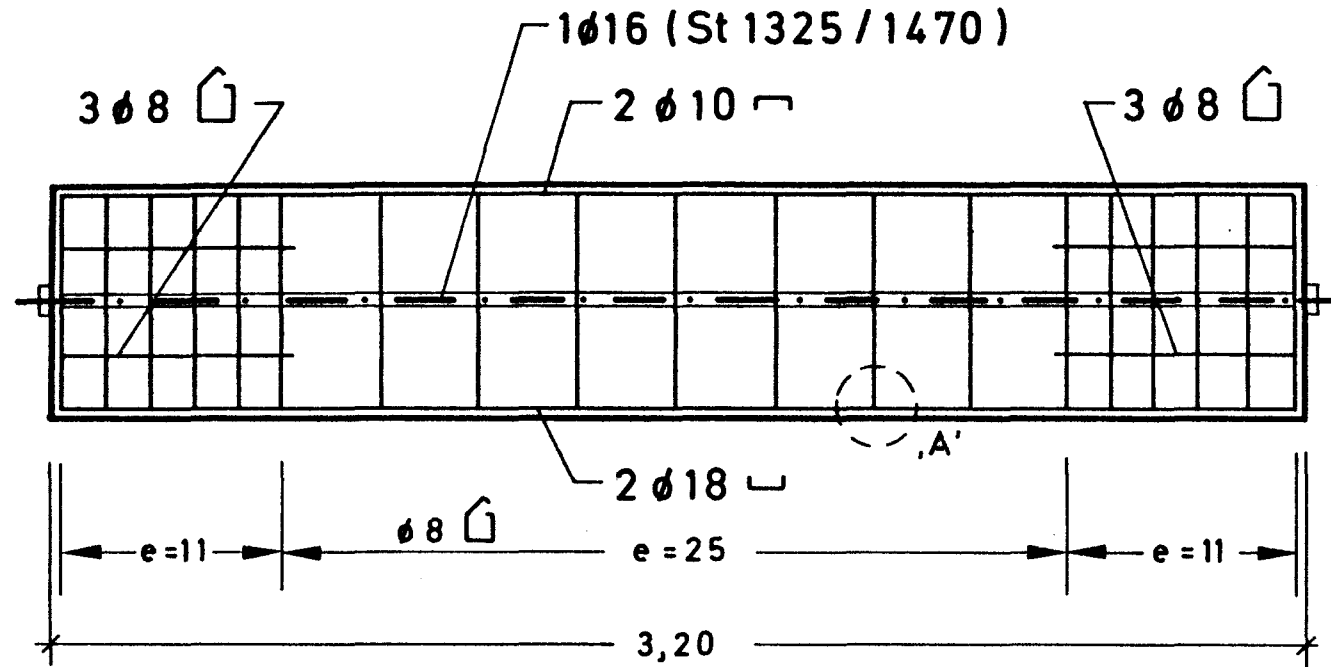


Bild 5 : Durchbiegung f in Phase 2



B 35
B St 420 / 500R
St 1325 / 1470

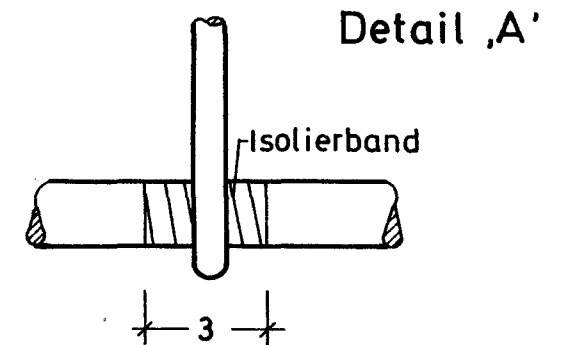
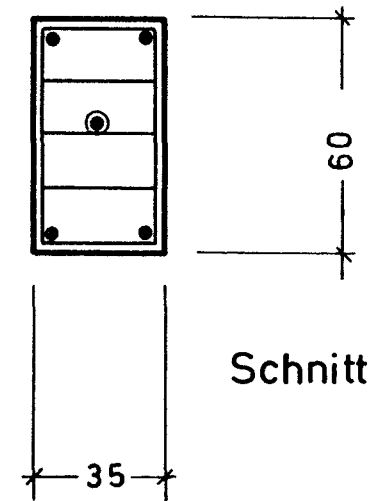


Bild 6 :

Versuchsbalken L1 bis L10 , Schal - und Bewehrungsplan

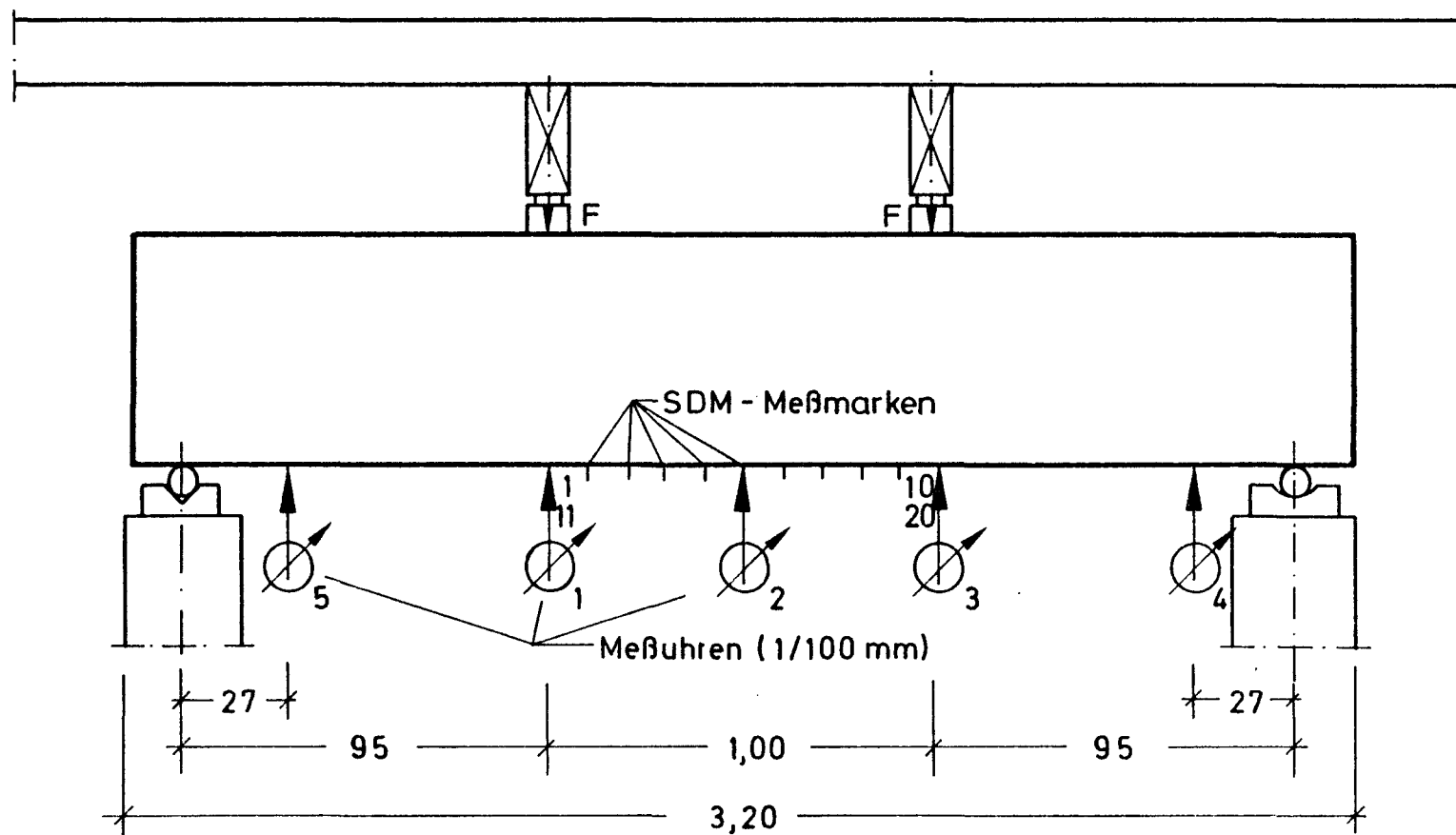
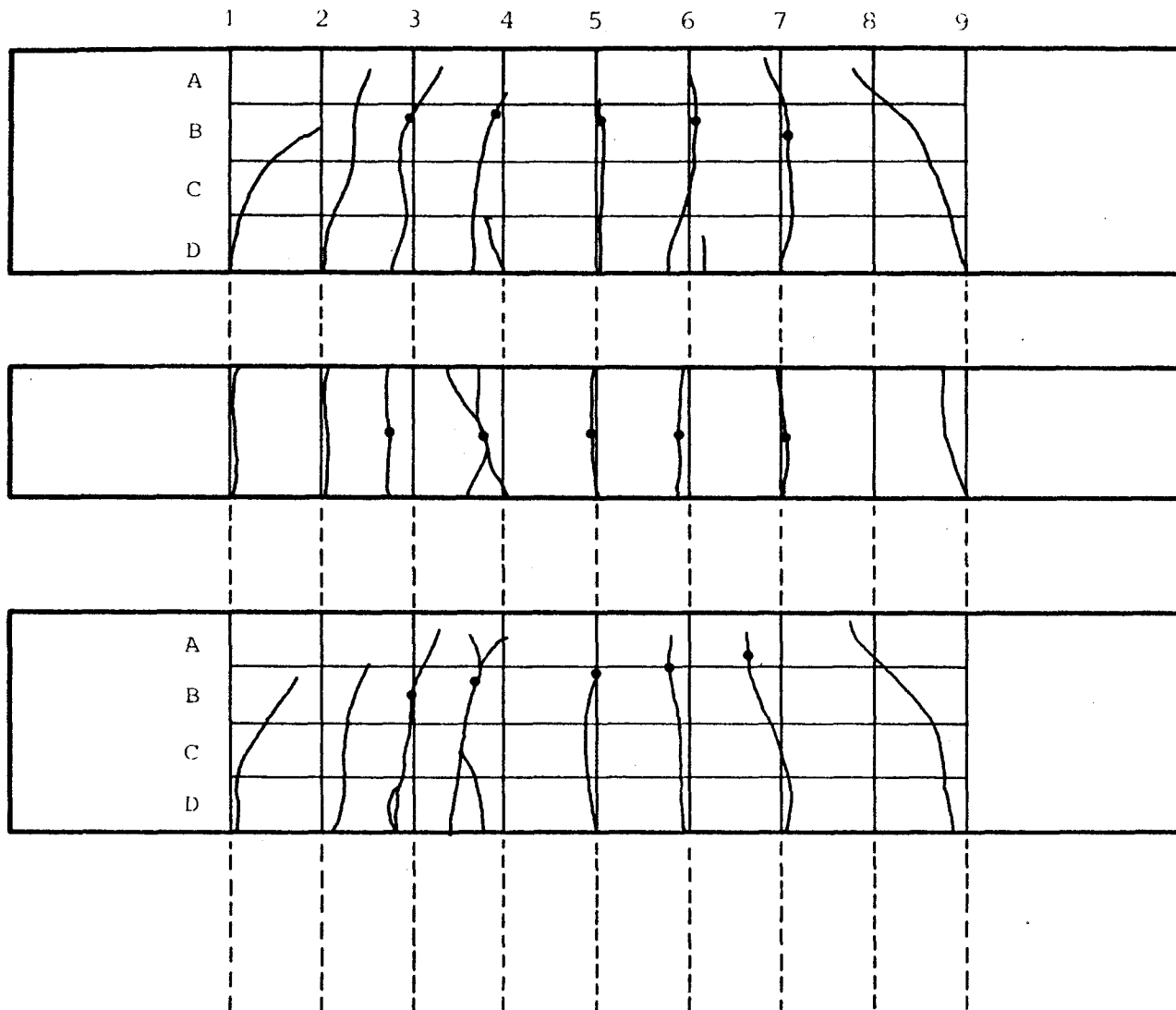


Bild7: Versuchsbalken L 1 bis L 10
Belastungs - und Meßeinrichtung bei Schwell - und Bruchversuch

Bild 8.1 : Rißbild zu Balken-Nr. 1



Rißlast: F_R		-	-	-	-	56	-	-	-	-	kN
max F		140									kN
Rißbreite	max w	19	16	147	106	134	86	139	-	26	mm · 10 ⁻²
	min w	12	9	115	87	110	74	117	-	12	mm · 10 ⁻²
Verpressung		-	-	•	•	•	•	•	-	-	-
Harzaustritt an Entlüftung	S.1	-	-	•	•	•	•	•	-	-	-
	S.2	-	-	•	•	•	•	•	-	-	-

Seitenansicht 1

Unterseite

Seitenansicht 2

• Einreiß- bzw.

• Entlüftungsöffnung

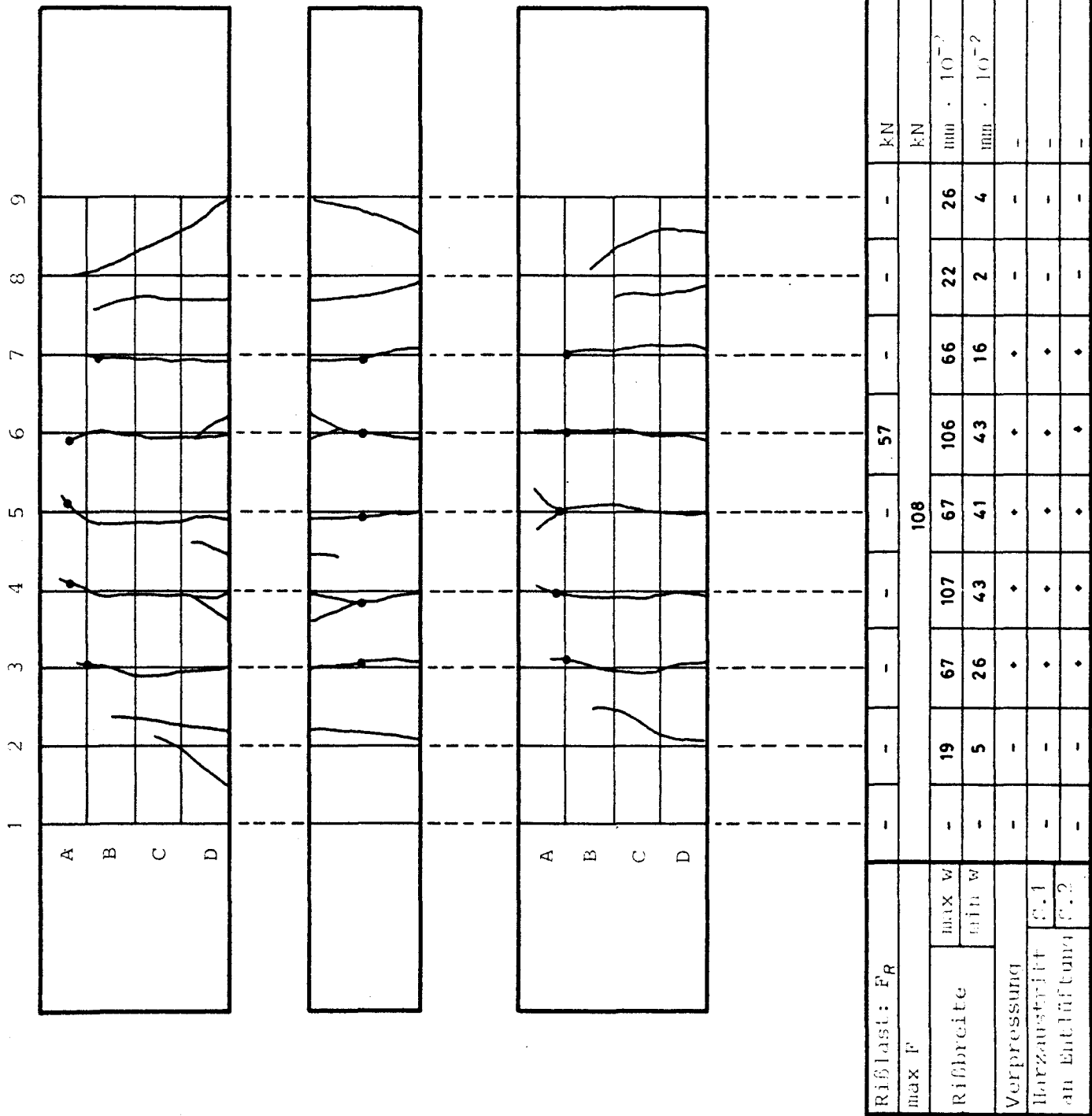
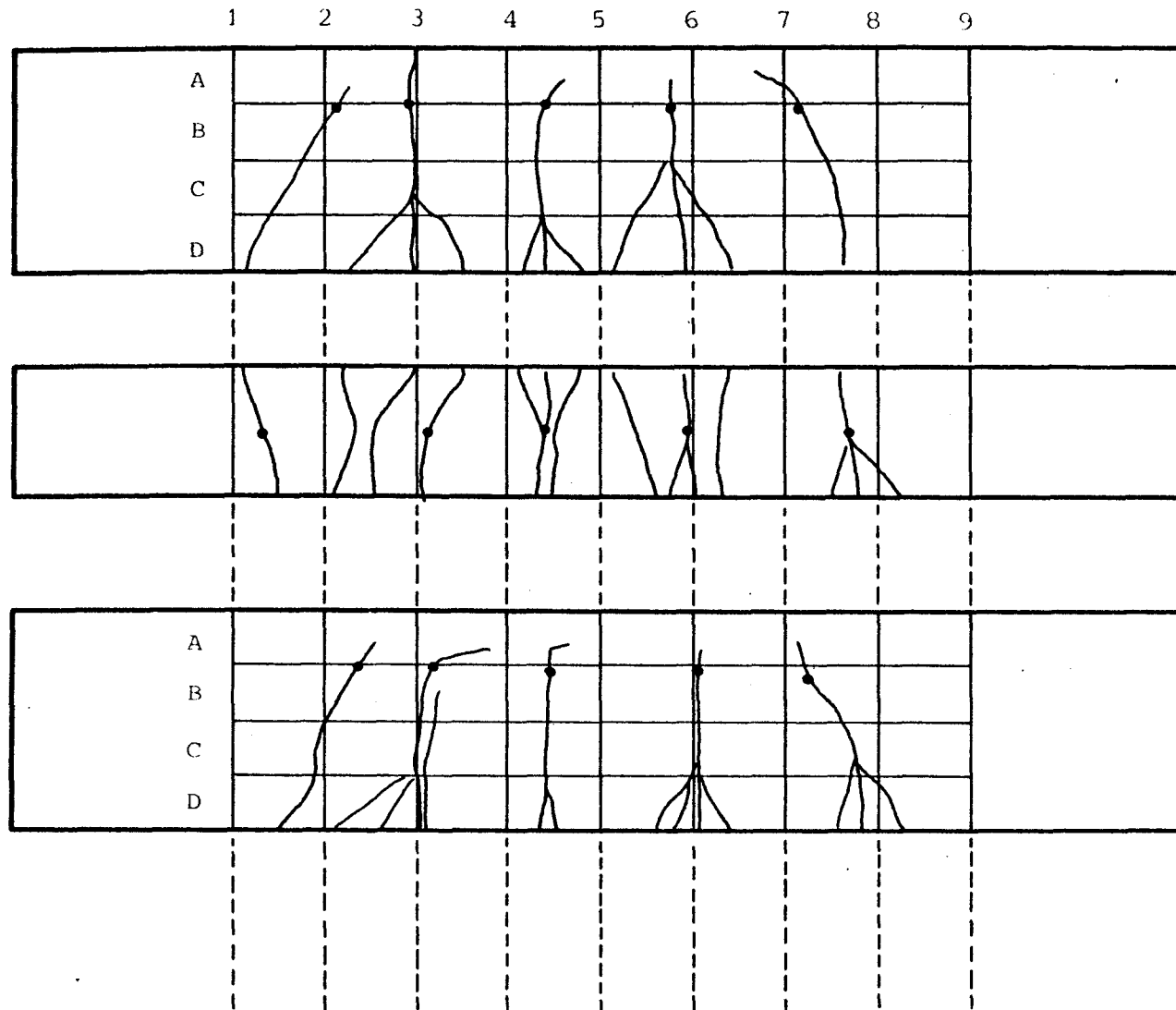


Bild 8.2 : Rißbild zu Balken-Nr. 2

Bild 8.3 : Ribbild zu Balken-Nr. 3



Seitenansicht 1

Untersseite

Seitenansicht 2

• = Einreiß- bzw.
Fehlöffnungsöffnung

Rißlast: F_R		-	-	60	-	-	-	-	-	-	kN
max F		135									kN
Rißbreite	max w	35	-	75	75	-	115	-	90	-	mm · 10 ⁻²
	min w	10	-	65	67	-	85	-	60	-	mm · 10 ⁻²
Verpressung		+	-	+	+	-	+	-	+	-	-
Harzaustritt an Entlüftung	S.1	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-
	S.2	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-

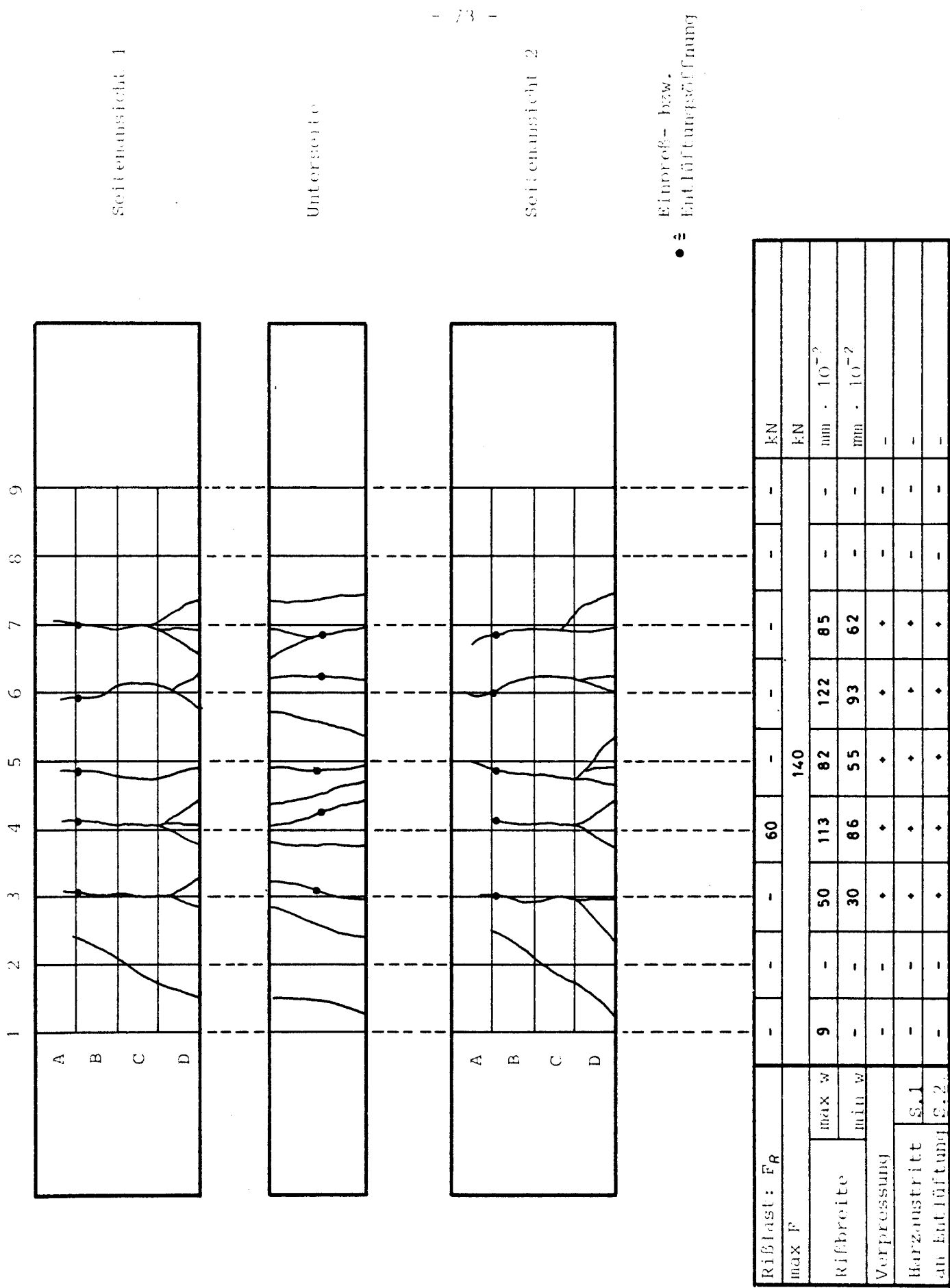


Bild 8.4 : Rißbild zu Balken-Nr. 4

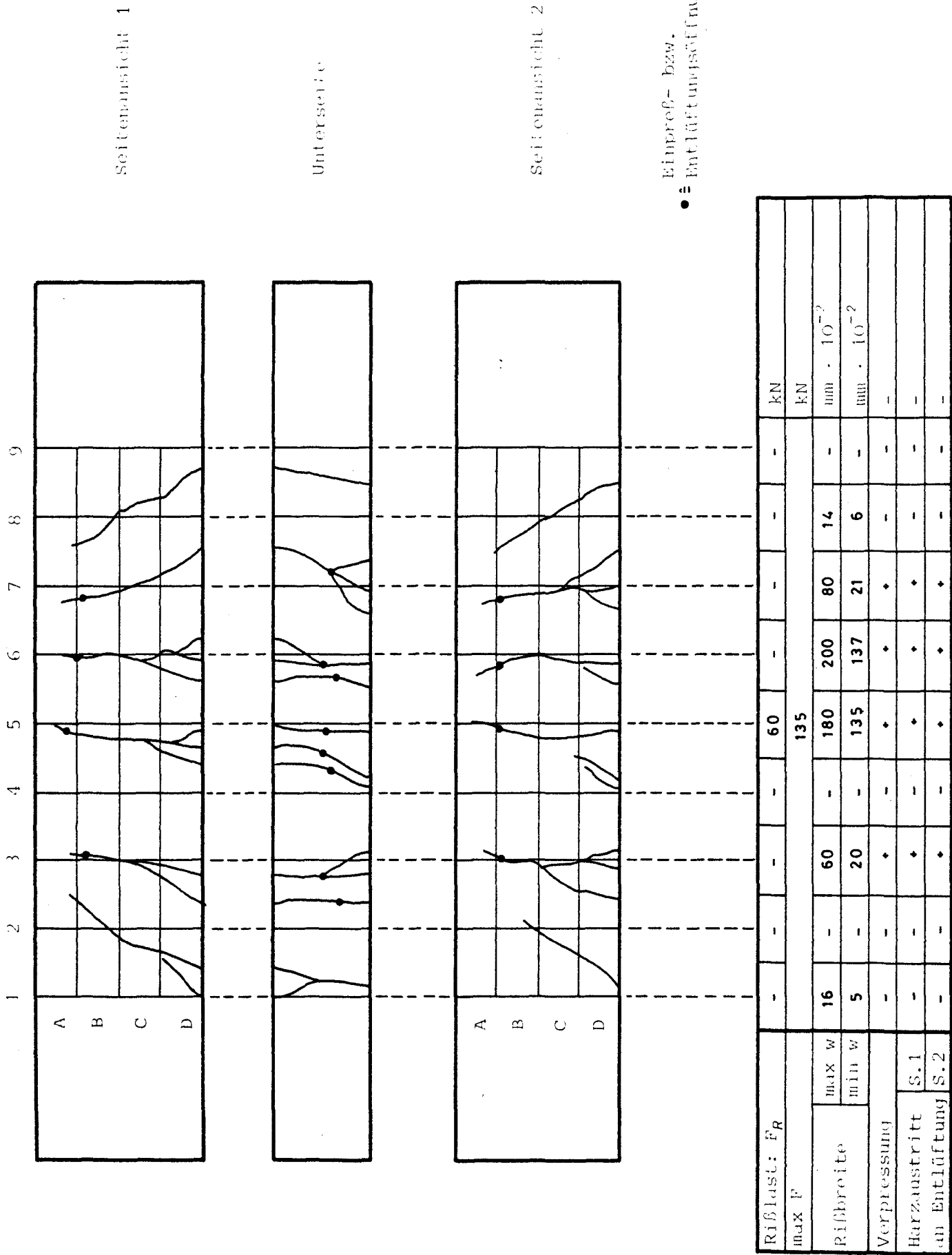


Bild 8.5: Rißbild zu Balken-Nr. 5

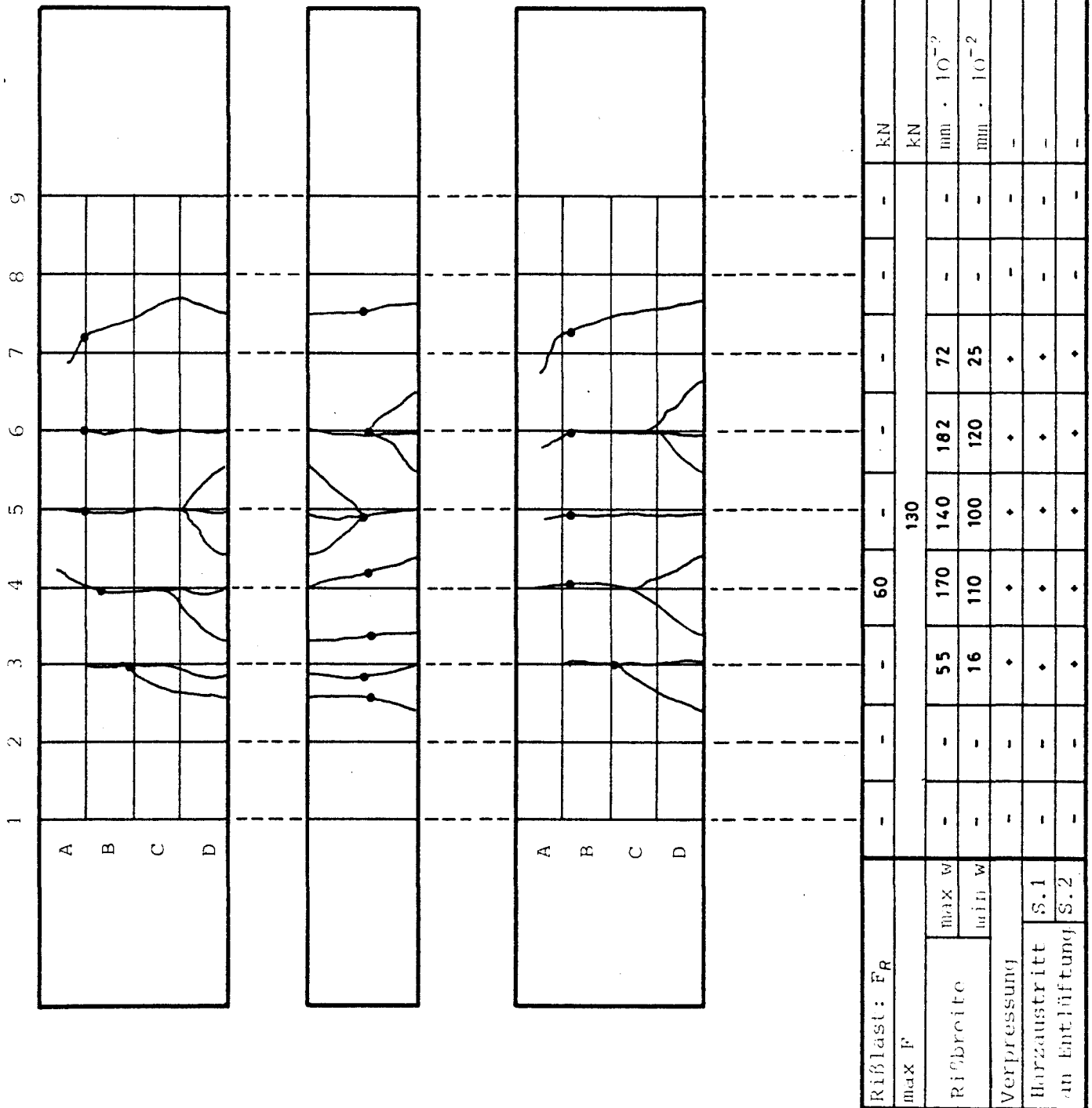


Bild 8.6 : Rißbild zu Balken-Nr. 6



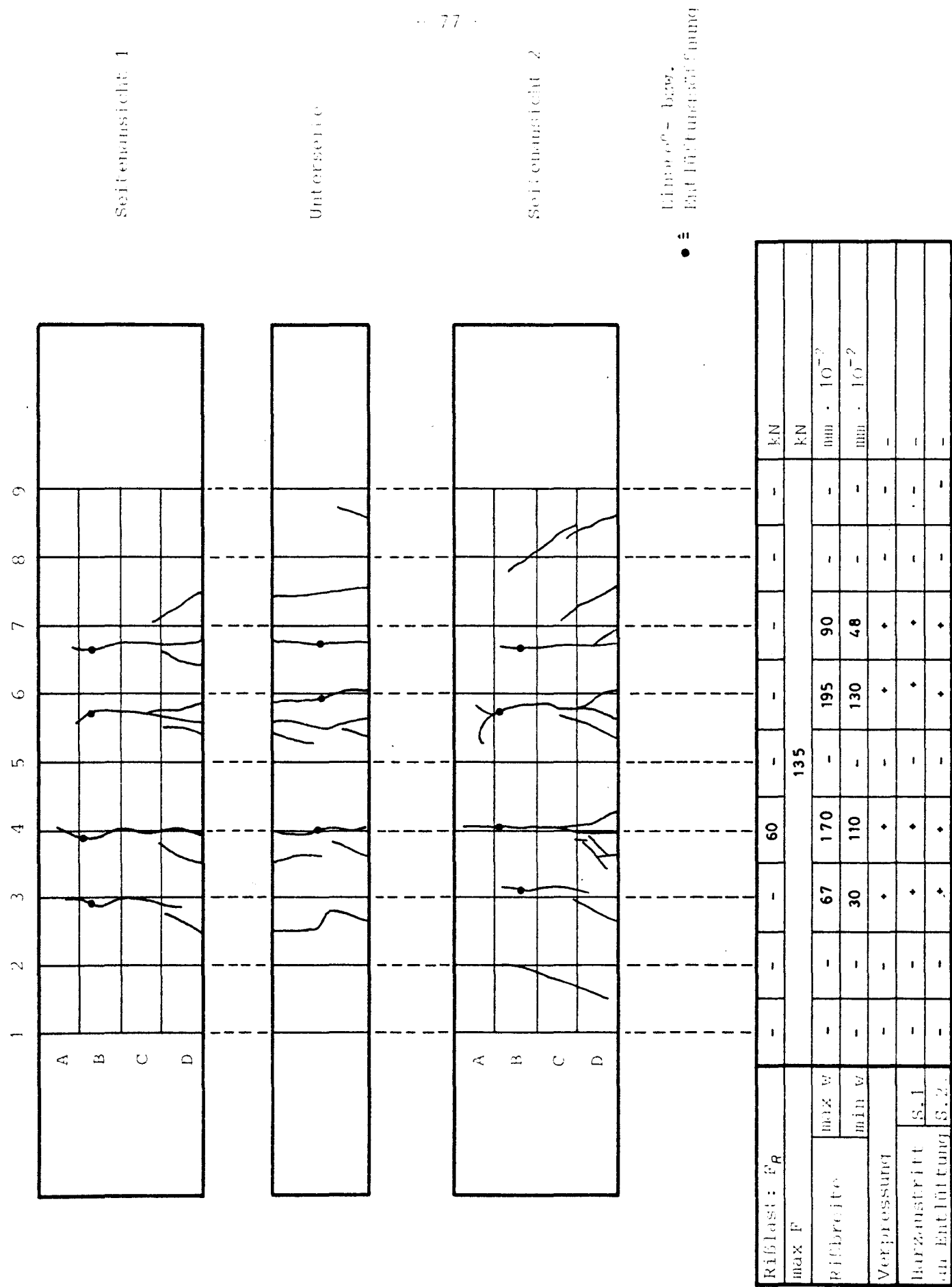
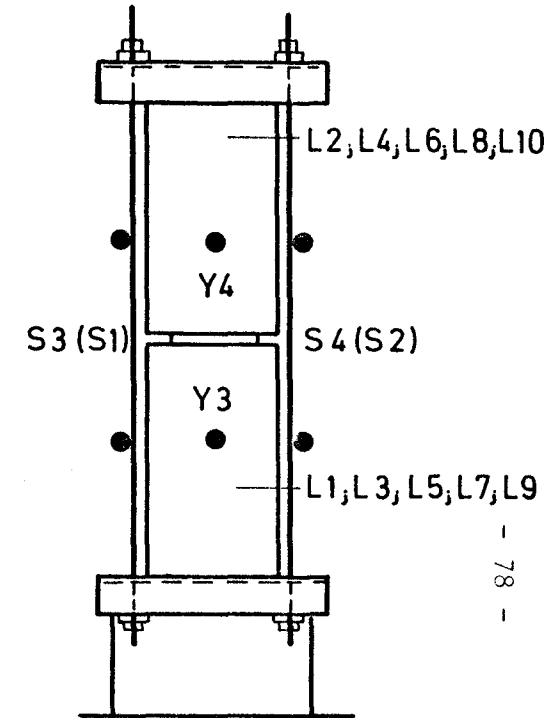
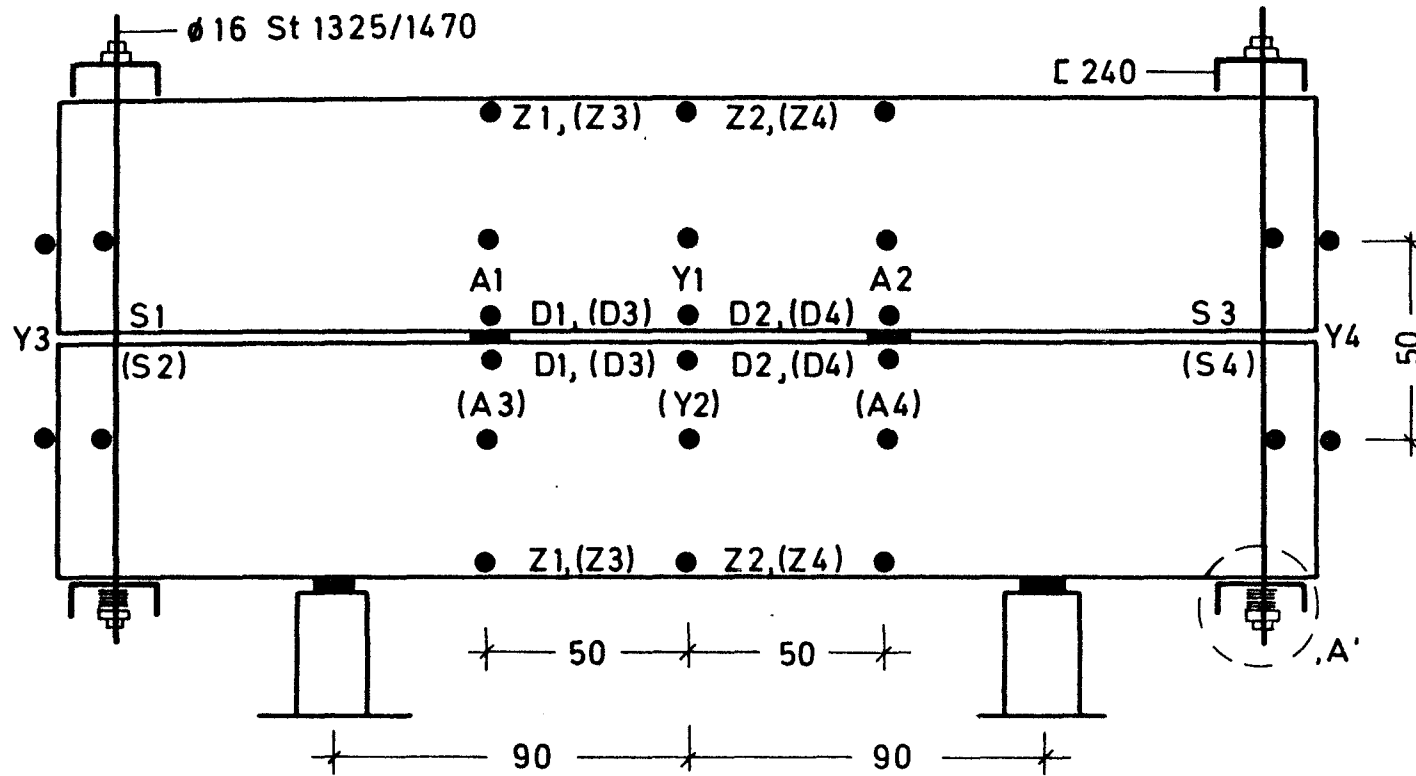


Bild 8.8 : Rißbild zu Balken-Nr. 8

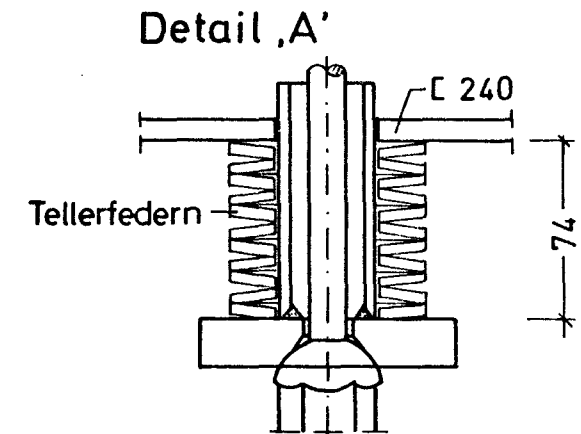
Meßstellen in () liegen auf der gegenüberliegenden Seite



- 78 -

Bild 9:

Versuchsbalken L 1 bis L 10,
Versuchsstand und Meßstellenanordnung
bei Lagerung im Freien



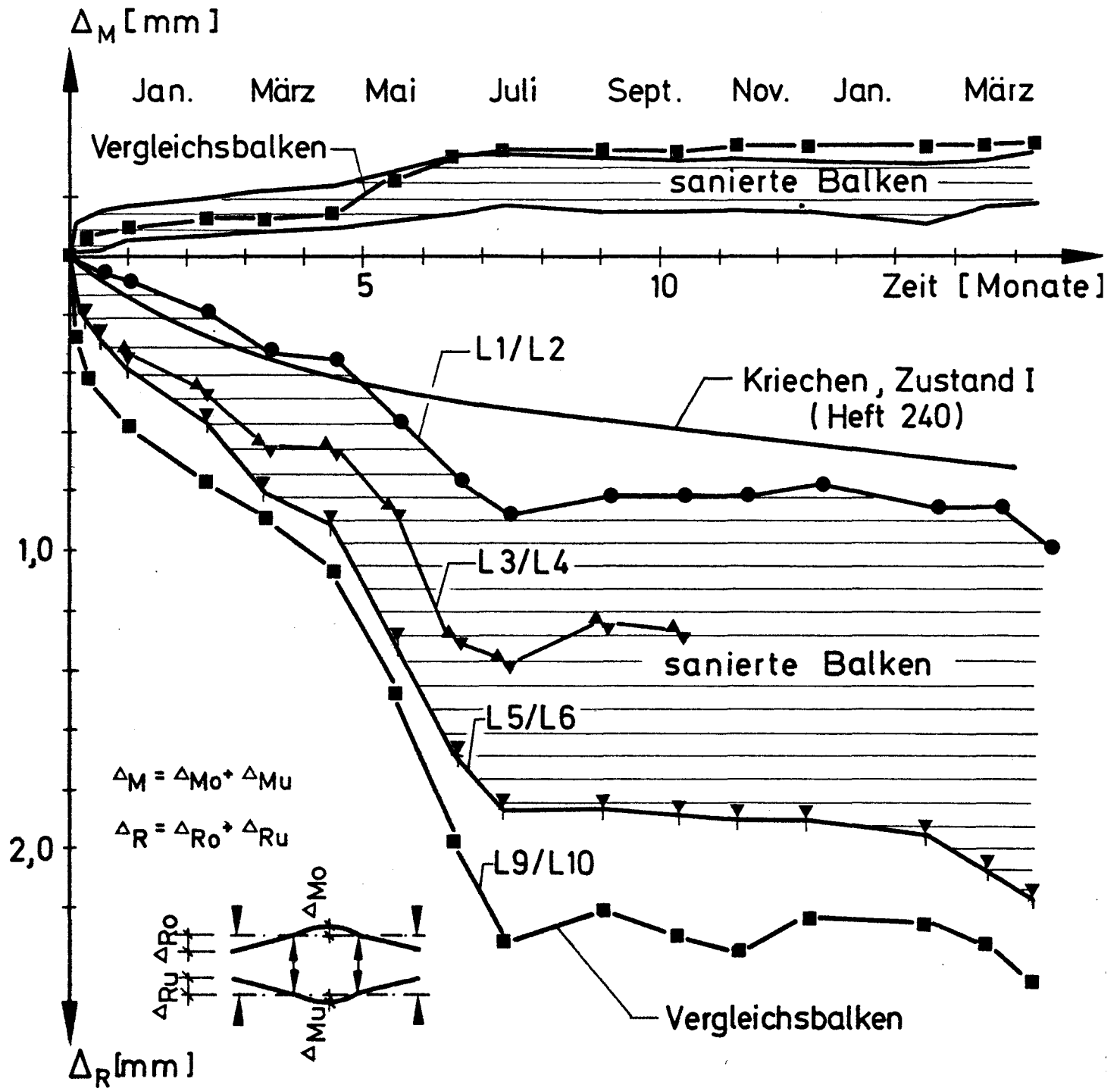


Bild 10 :

Änderung von Durchbiegungsordinaten unter Dauerlast bei Lagerung im Freien

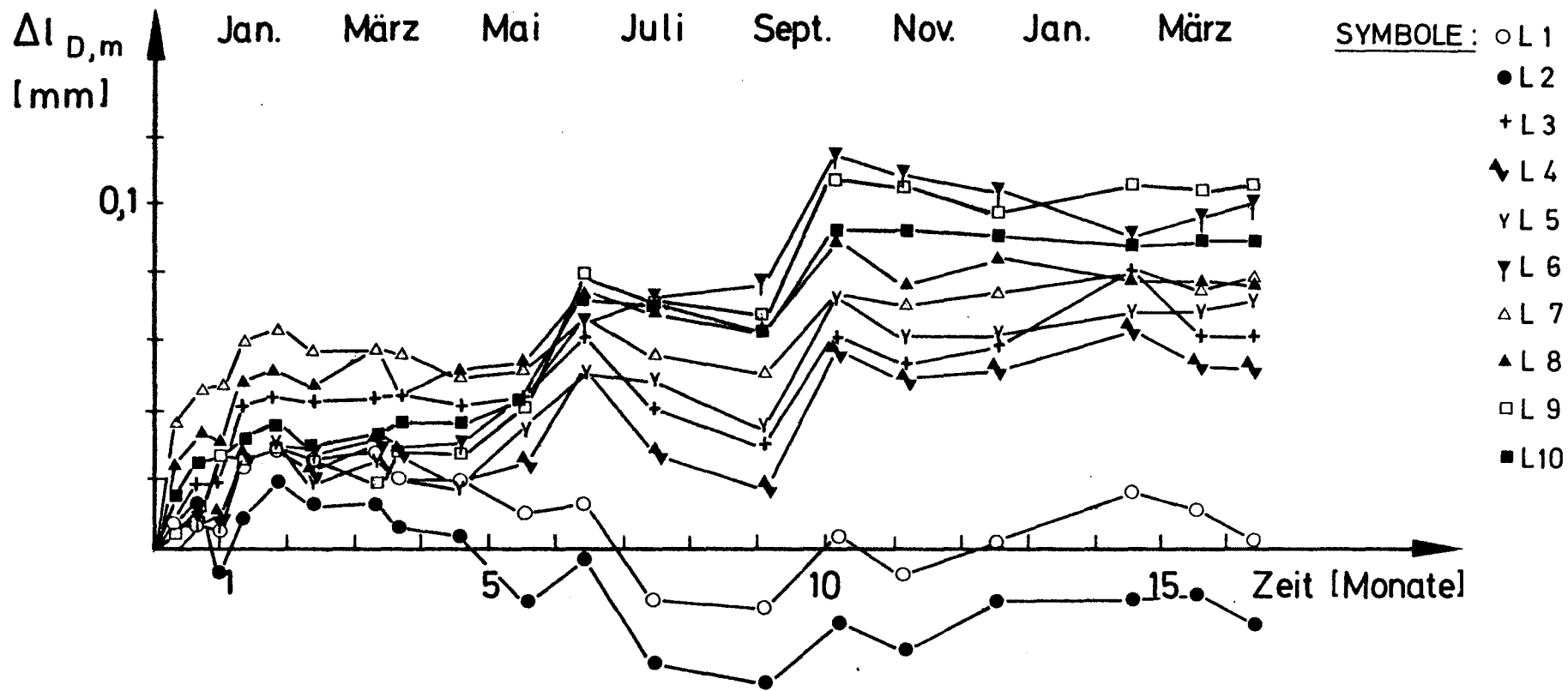


Bild 11 : Mittlere Längenänderung der Meßstrecken D_i ($l_0 = 0,50\text{m}$)
an den Balken L1 bis L10

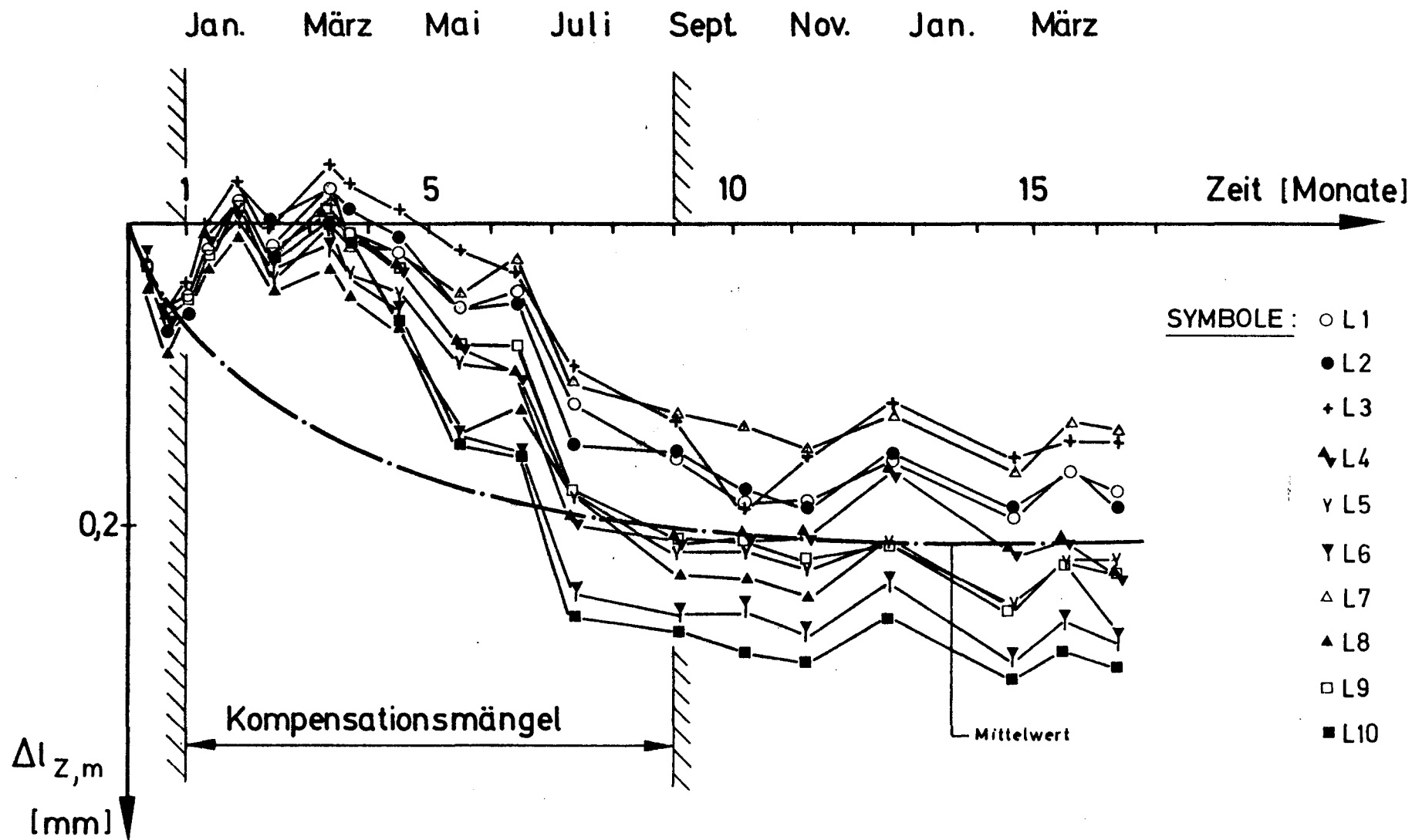
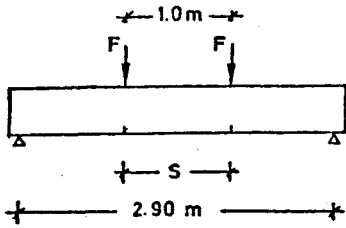


Bild 12: Mittlere Längenänderung der Meßstrecken Z_i ($l_0=0,50\text{ m}$)
an den Balken L1 bis L10



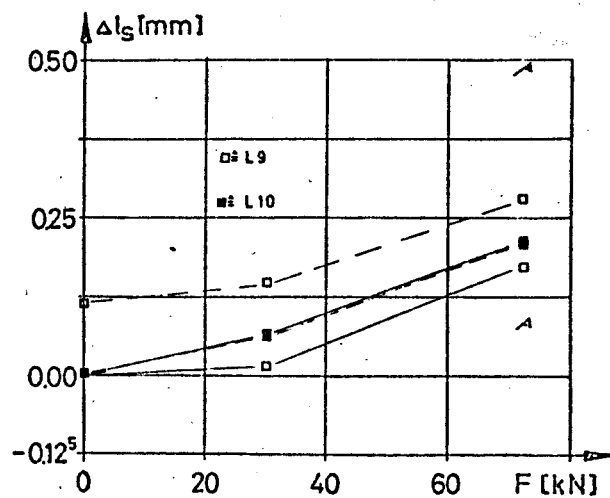
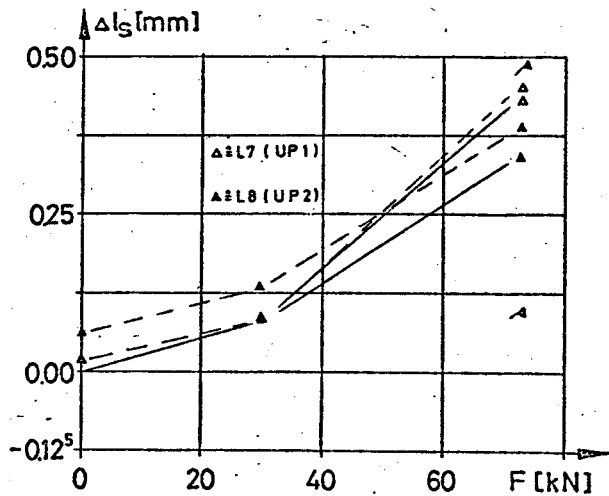
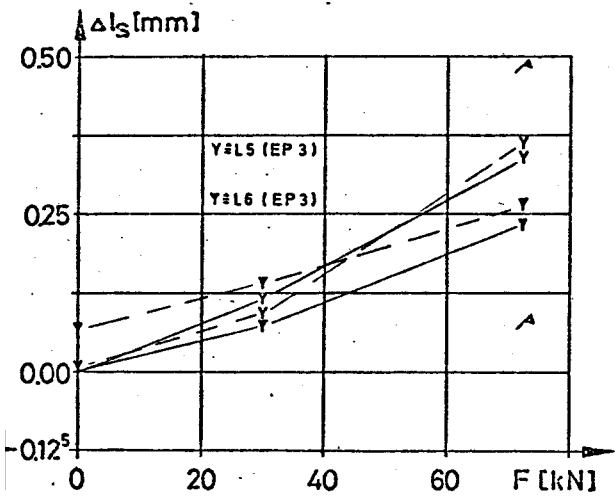
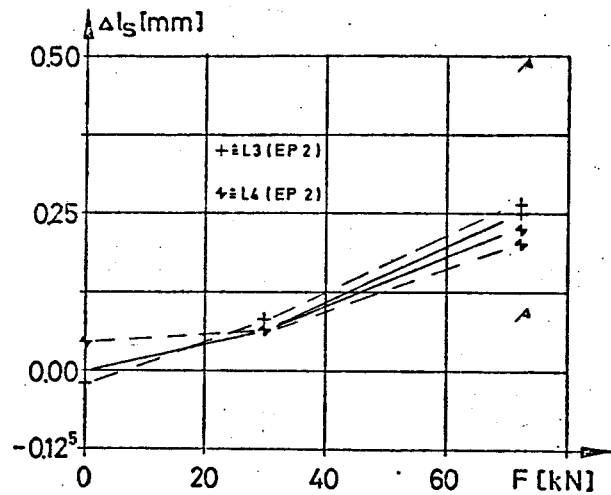
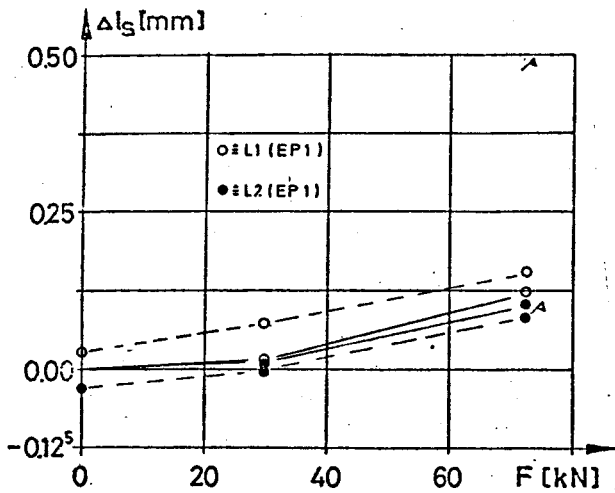
Symbole :

- \triangle vor dem Schwellen
- - \triangle nach dem Schwellen
- \triangle \triangle Rechenwert im Zustand I
- \triangle \triangle Rechenwert im Zustand II

Schwellbelastung :

$$F^0 = 72,5\text{ kN} = \text{zul. } F$$

$$F^u = 30,0\text{ kN}$$



.D 13 : Längenänderung der Meßstrecken S vor und nach Durchführung der Schwellversuche

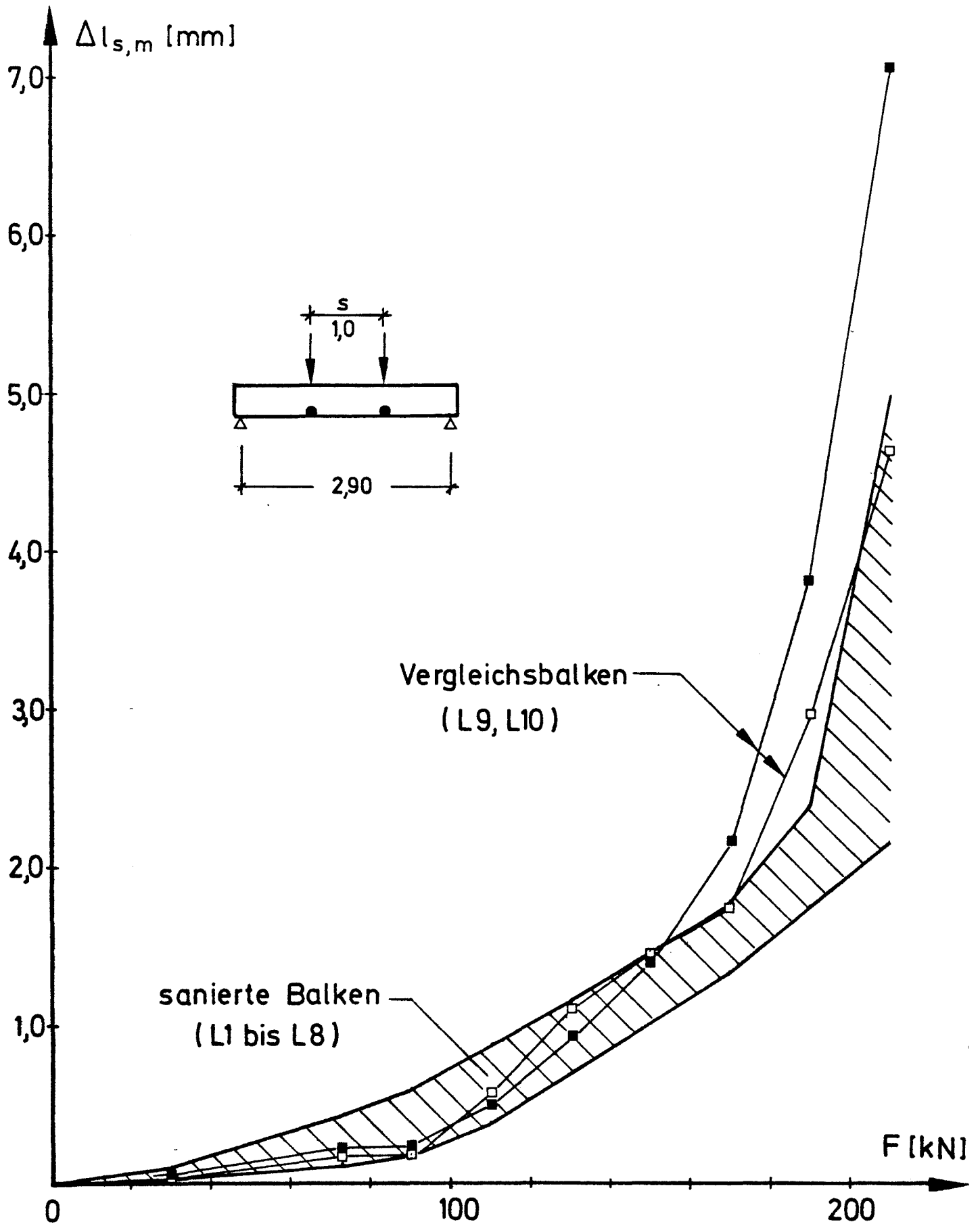
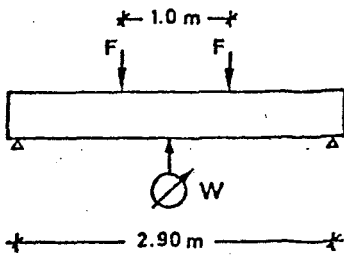


Bild 14 : Längenänderung der Meßstrecke s beim Bruchversuch

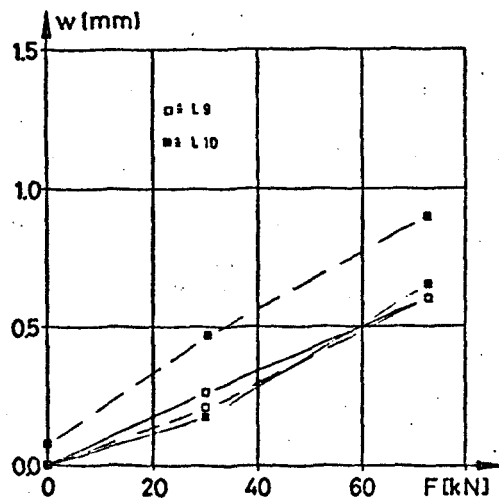
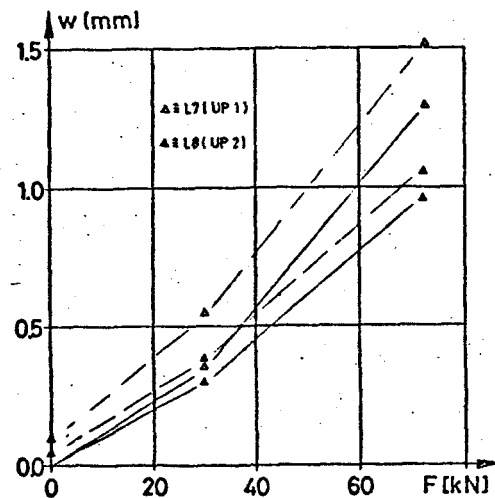
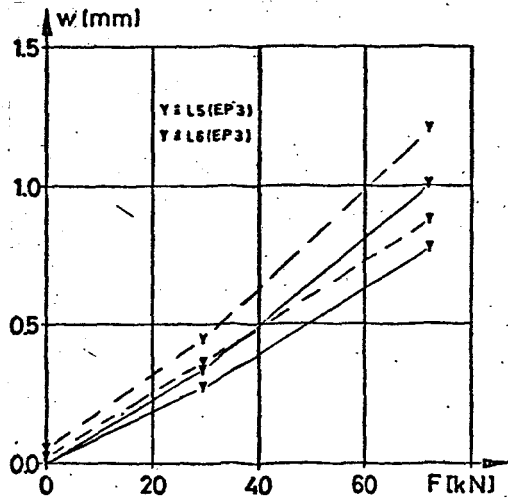
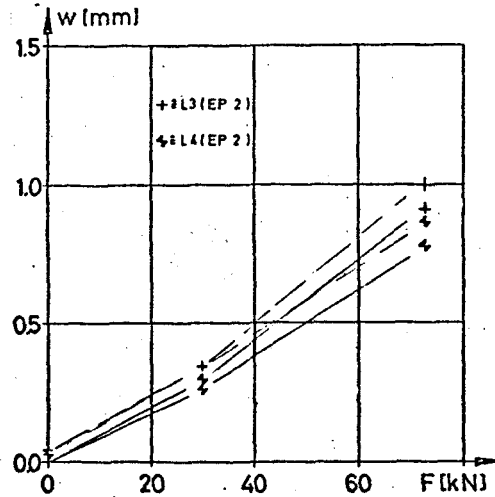
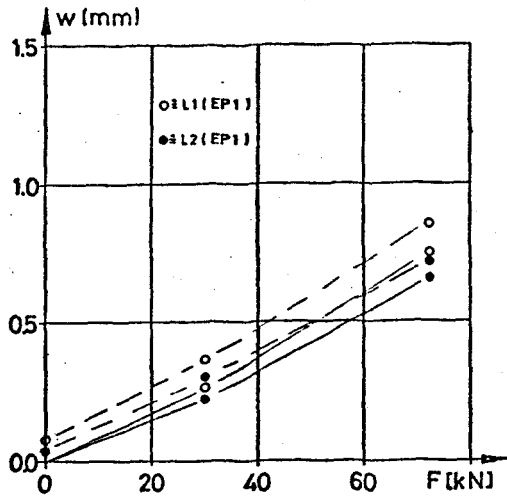


Symbole :

— ≙ vor dem Schwellen
 - - - ≙ nach dem Schwellen

Schwellbelastung :

$F^0 = 72,5 \text{ kN} = \text{zul. } F$
 $F^v = 30,0 \text{ kN}$



LD 15: Durchbiegungsordinaten vor und nach Durchführung der Schwellversuche

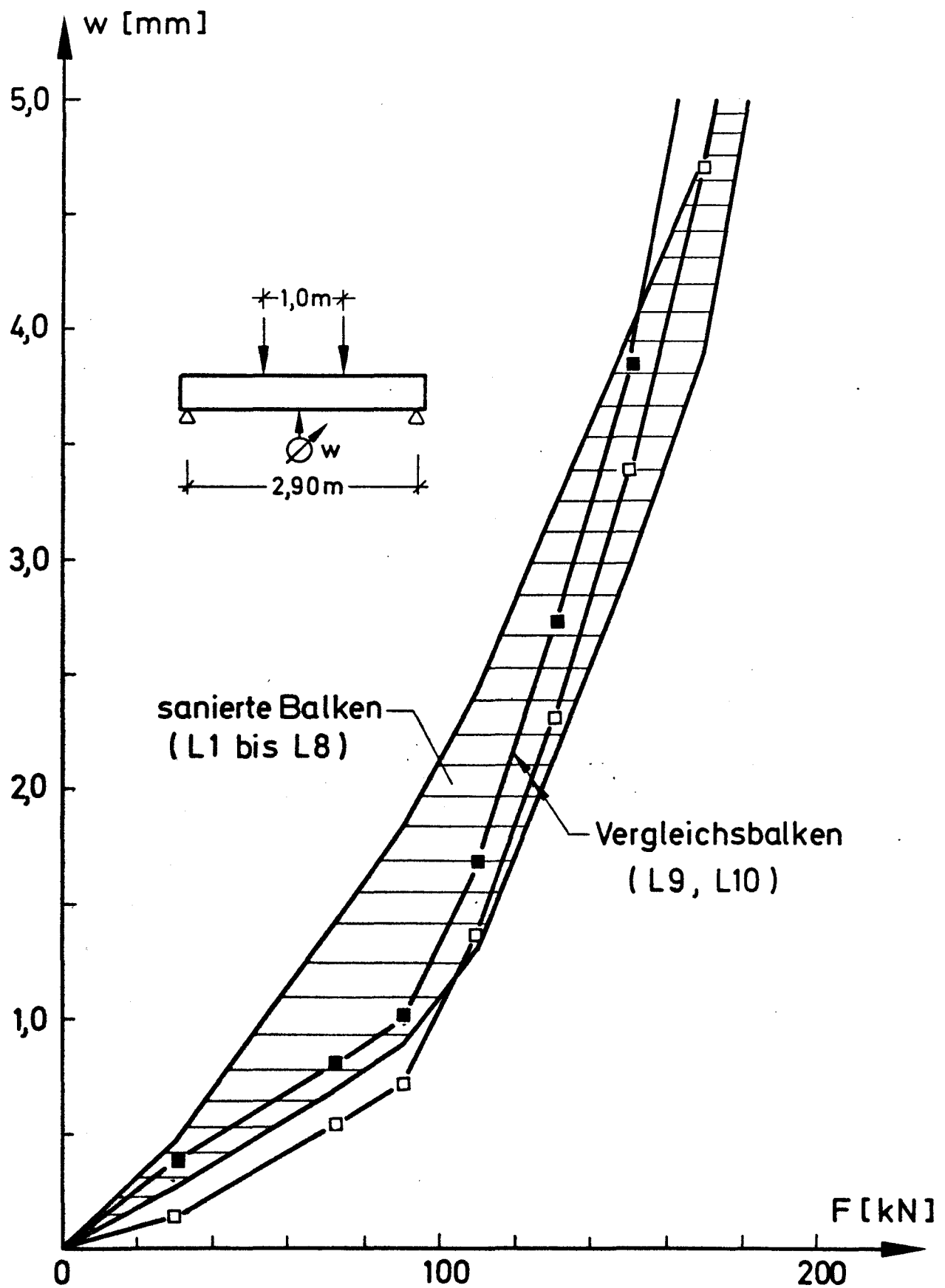


Bild 16 : Durchbiegung beim Bruchversuch

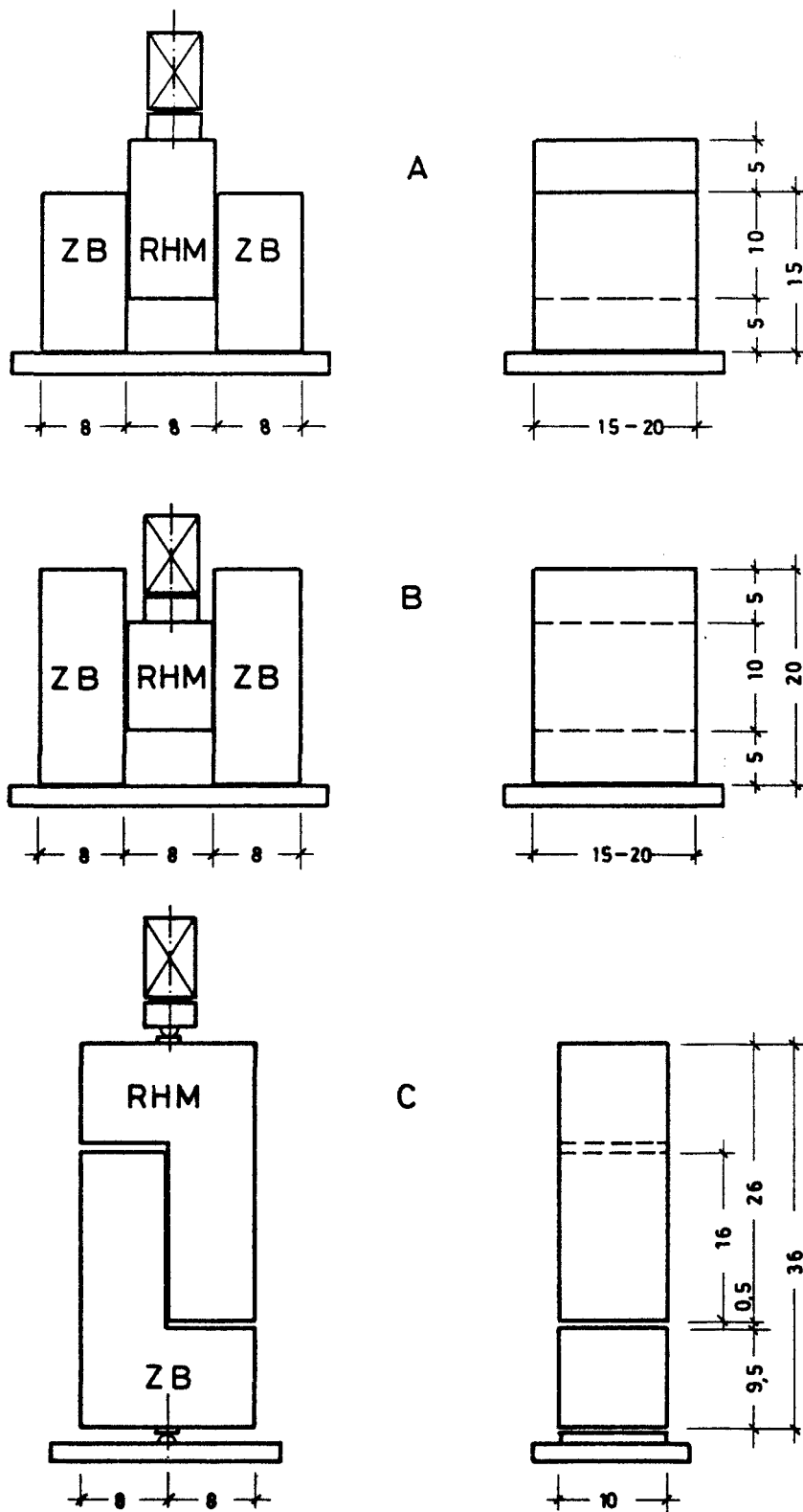


Bild 17 : Scherkörper der Vorversuche

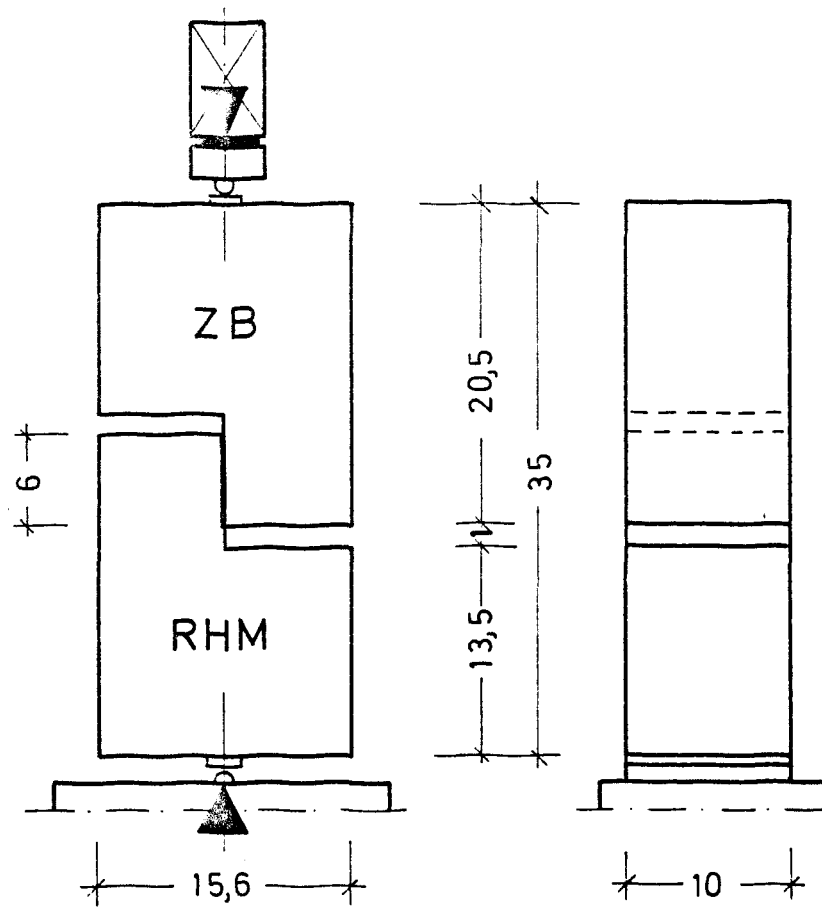


Bild 18 : Scherkörper

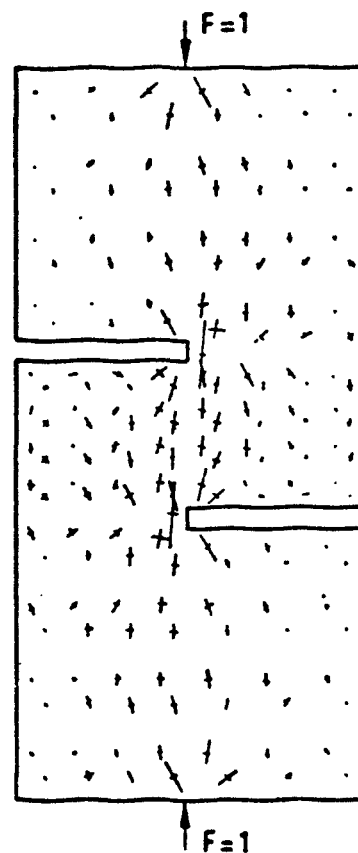


Bild 19 : Hauptspannungen des Versuchskörpers
für $F=1$

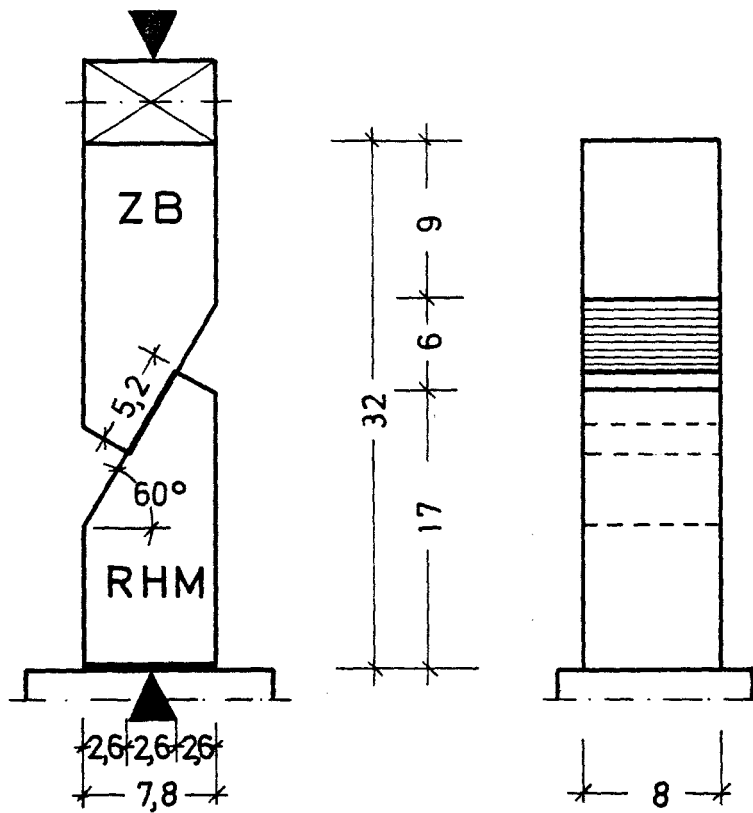
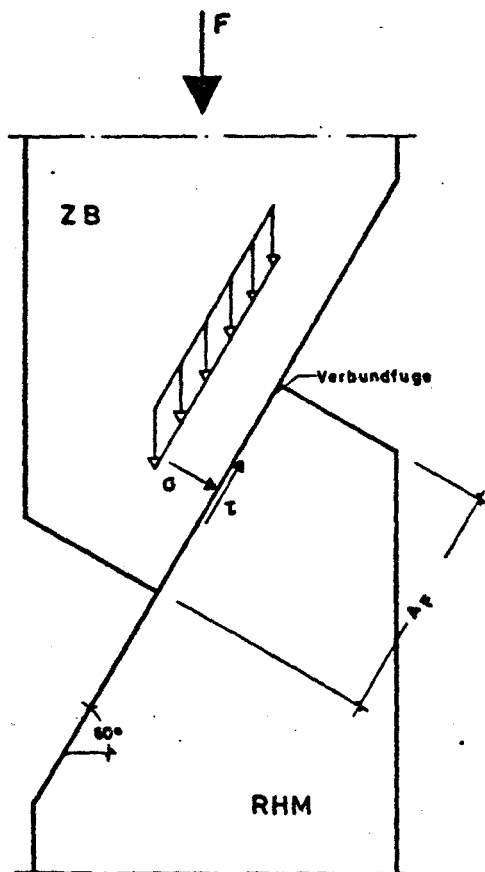


Bild 20 : Schubdruckkörper

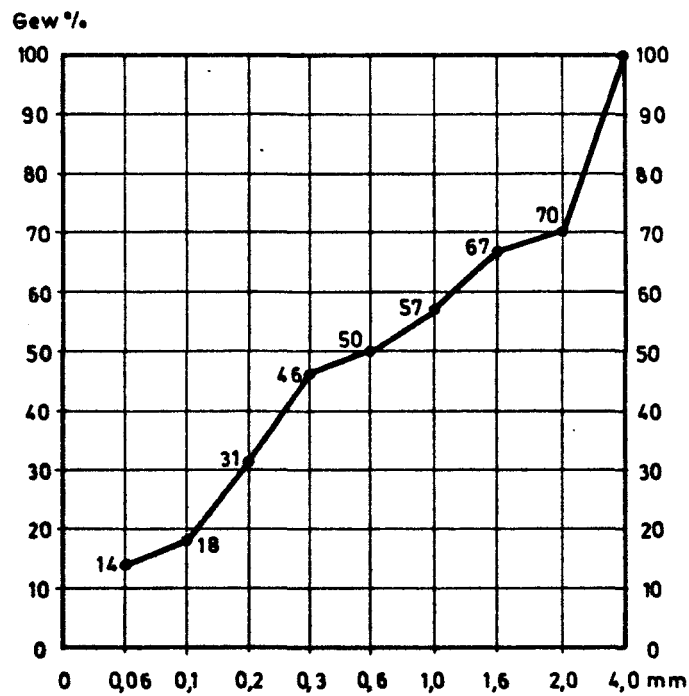


$$\sigma = F \cos \alpha / A_f$$

$$\tau = F \sin \alpha / A_f$$

A_f = Bruchfläche der Verbundfuge, wird am Bruchkörper ausgemessen

Bild 21 : Spannungen bei geneigter Verbundfuge



**Bild 22 : Siebline der Zuschlagstoffe für
die Reaktionsharzmörtel**

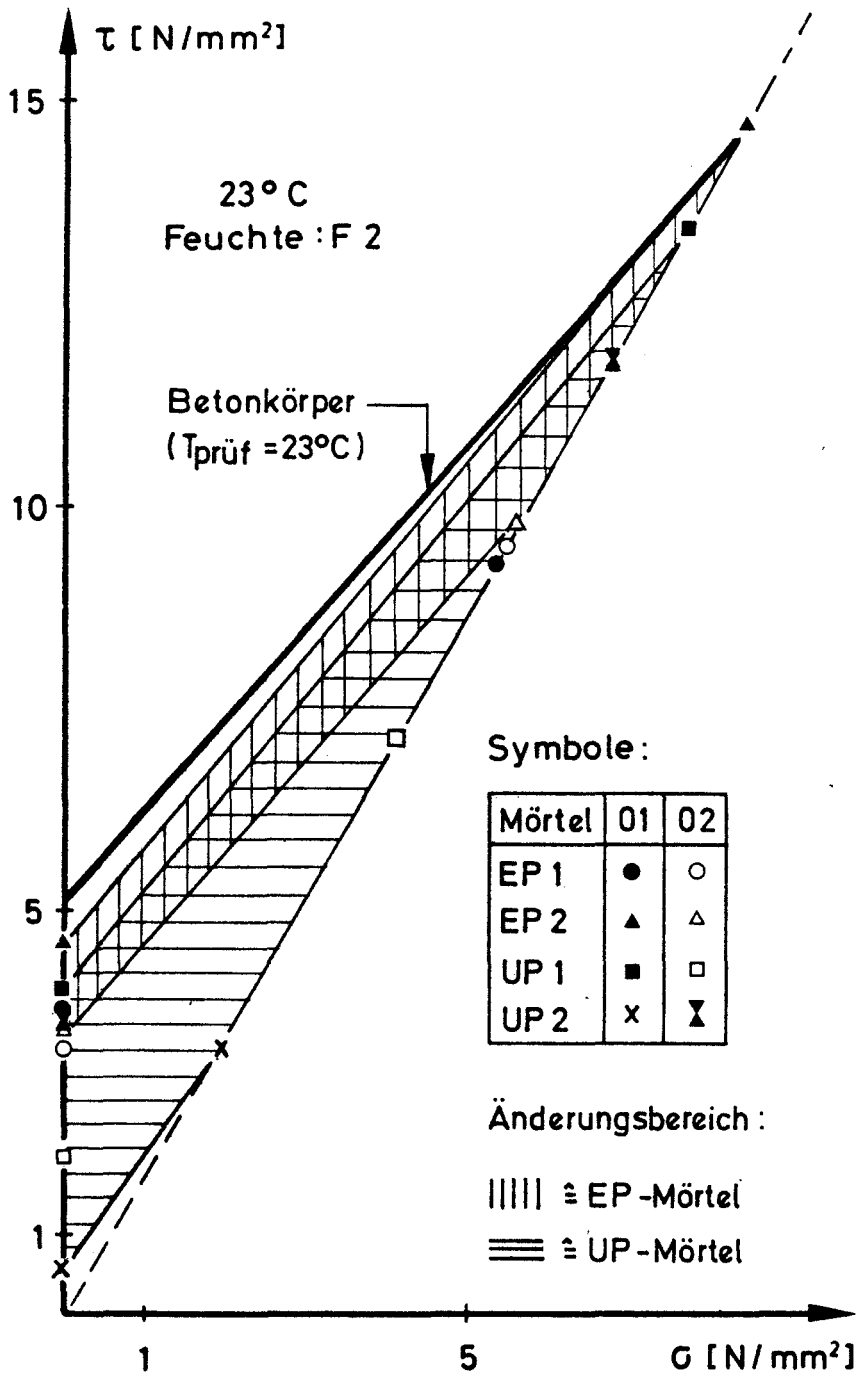


Bild 23: Mittelwerte aus den Schubdruck- und Scherversuchen bei unterschiedlichen Haftflächenrauigkeiten

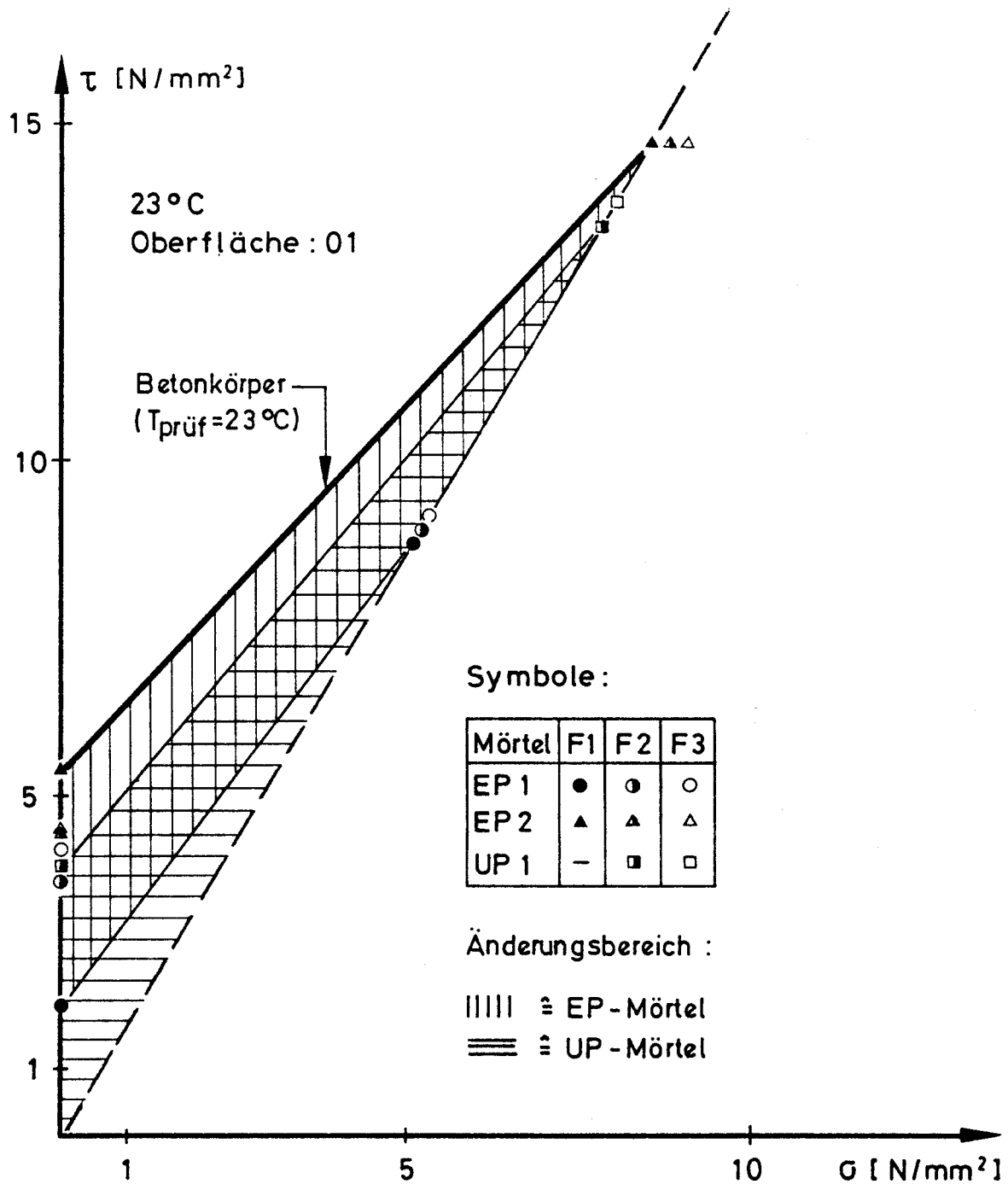


Bild 24 : Mittelwerte aus den Schubdruck- und Scherversuchen bei unterschiedlichen Feuchtegehalten

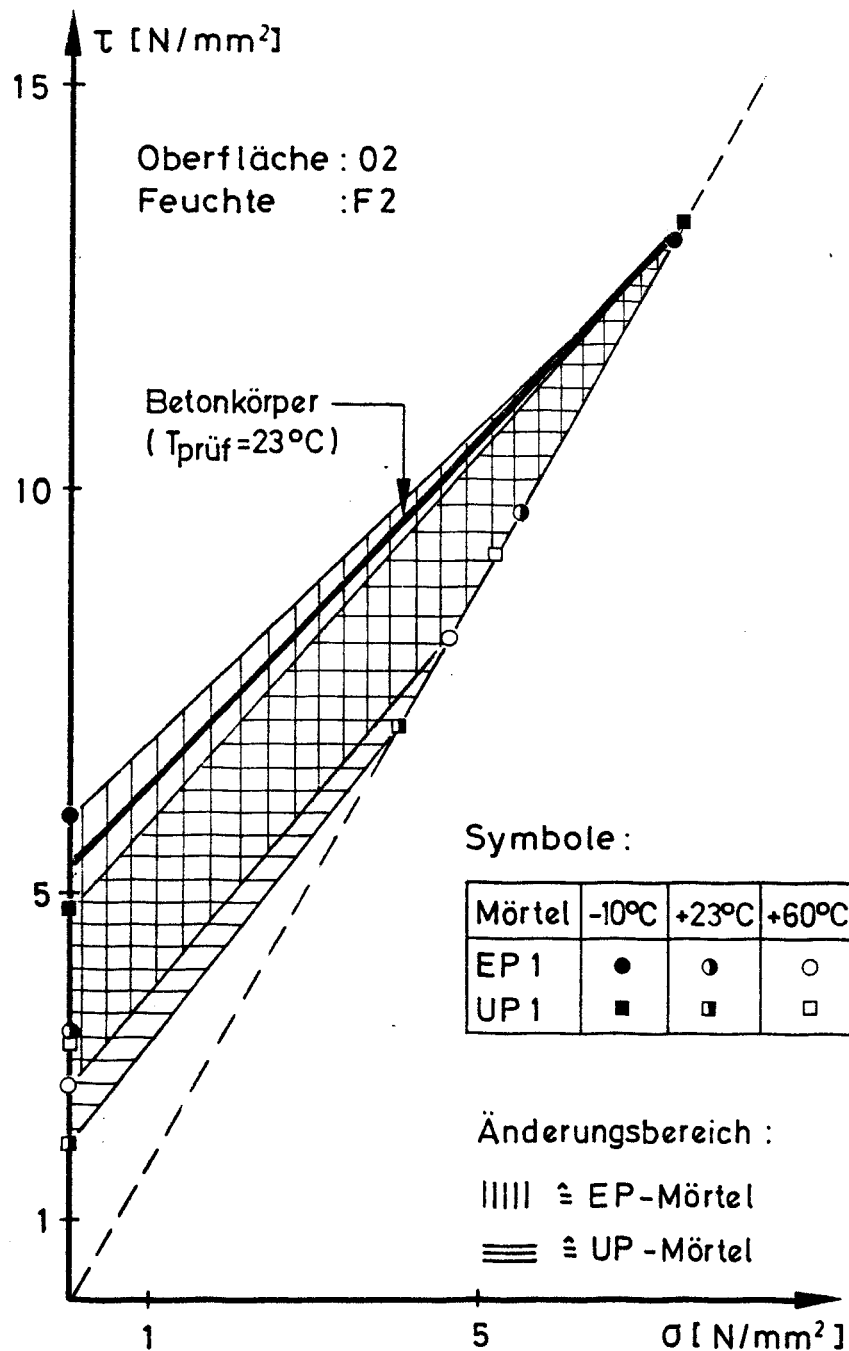


Bild 25: Mittelwerte aus den Schubdruck- und Scherversuchen bei unterschiedlicher Temperatur

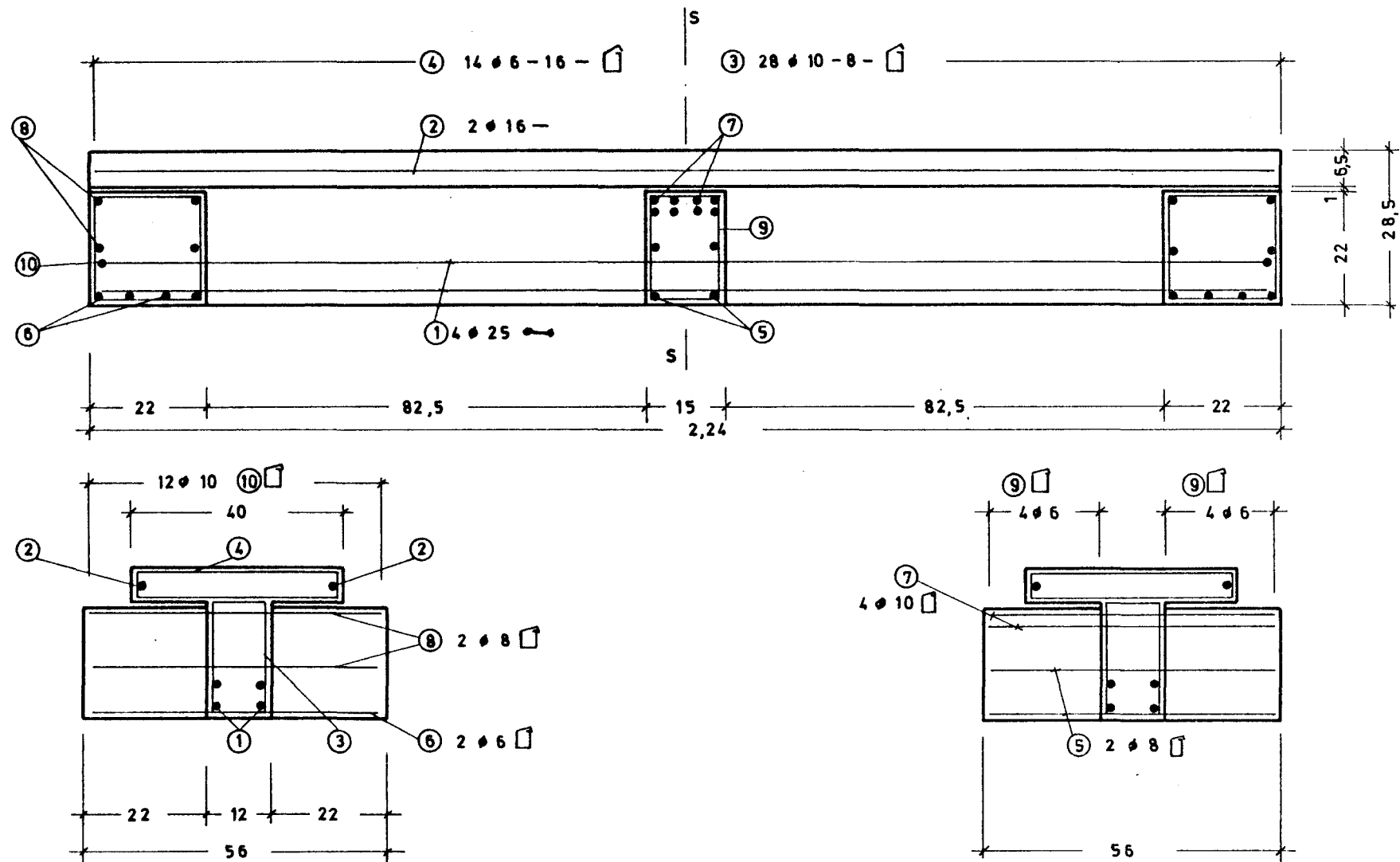
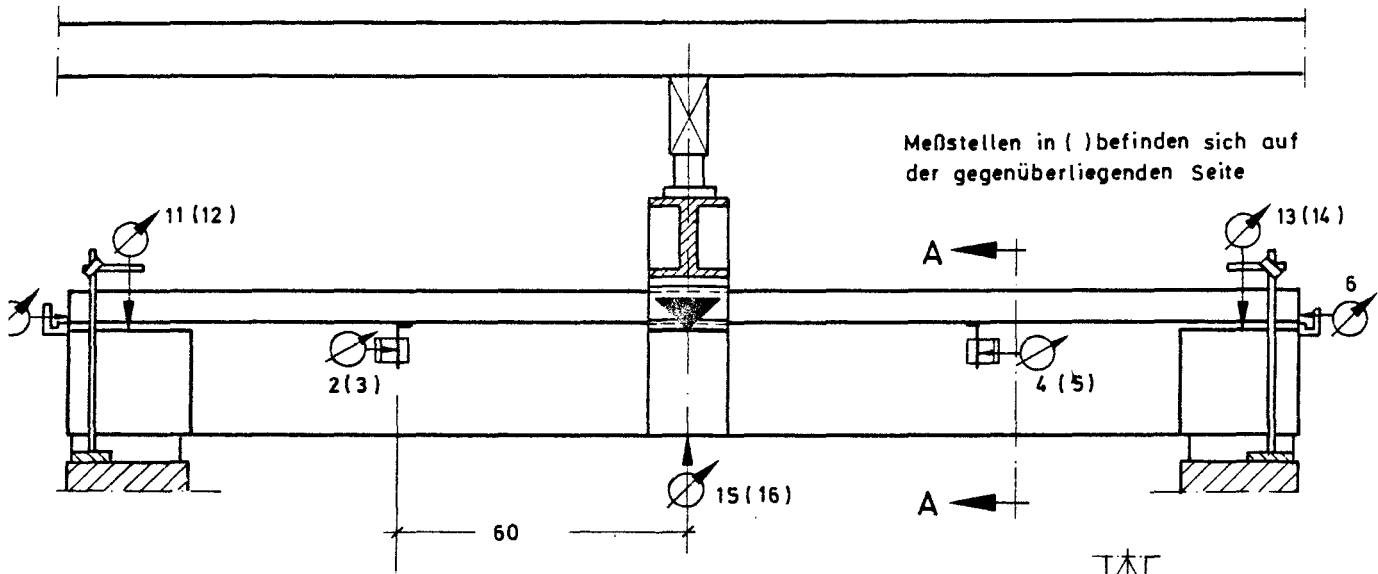
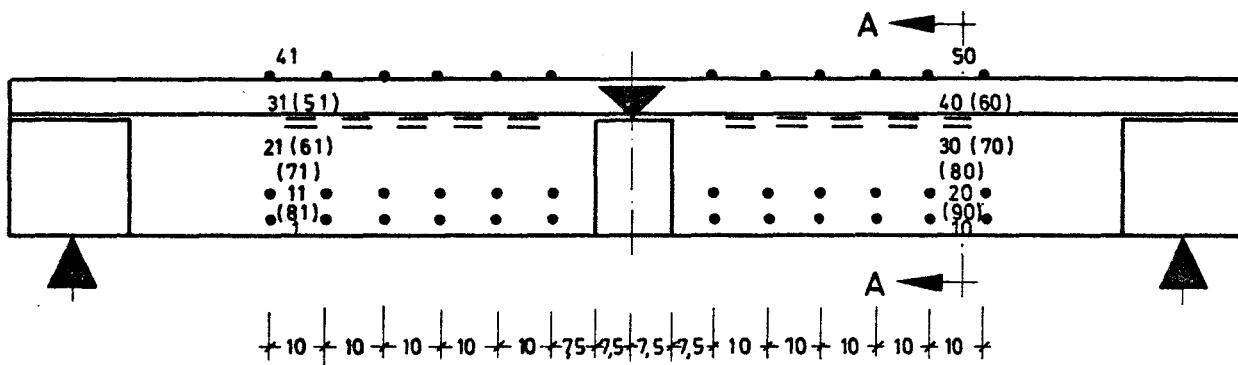
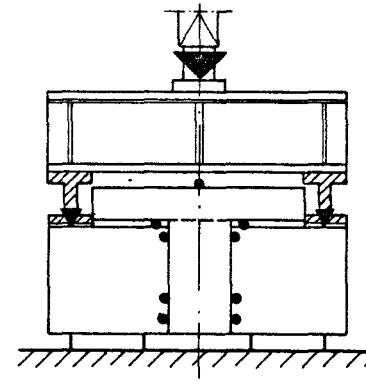


Bild 26: Schal- und Bewehrungsplan zu Versuchsbalken E_0 bis E_3

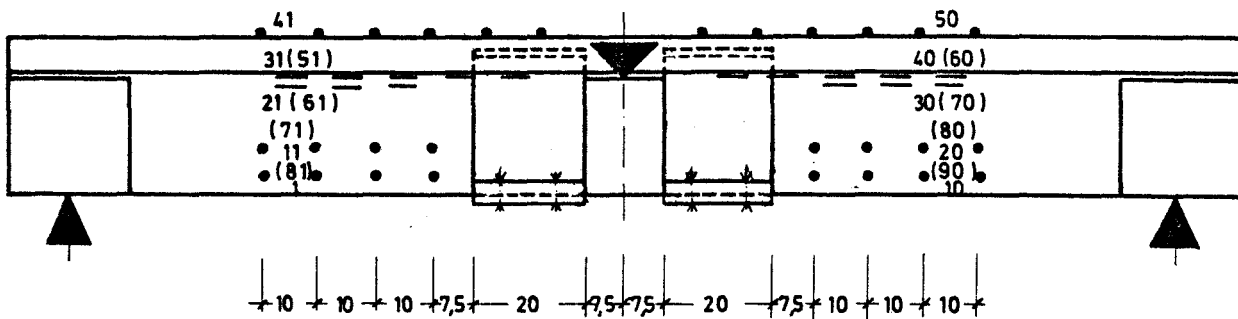


Belastungseinrichtung und
Meßuhrenanordnung

Schnitt A-A



SDM - Marken und DMS an Versuchsbalken E_0 bis E_2



SDM-Marken und DMS an Versuchsbalken E_3

Bild 27: Belastungseinrichtung und Meßstellenanordnung zu Versuchsbalken E_0 bis E_3

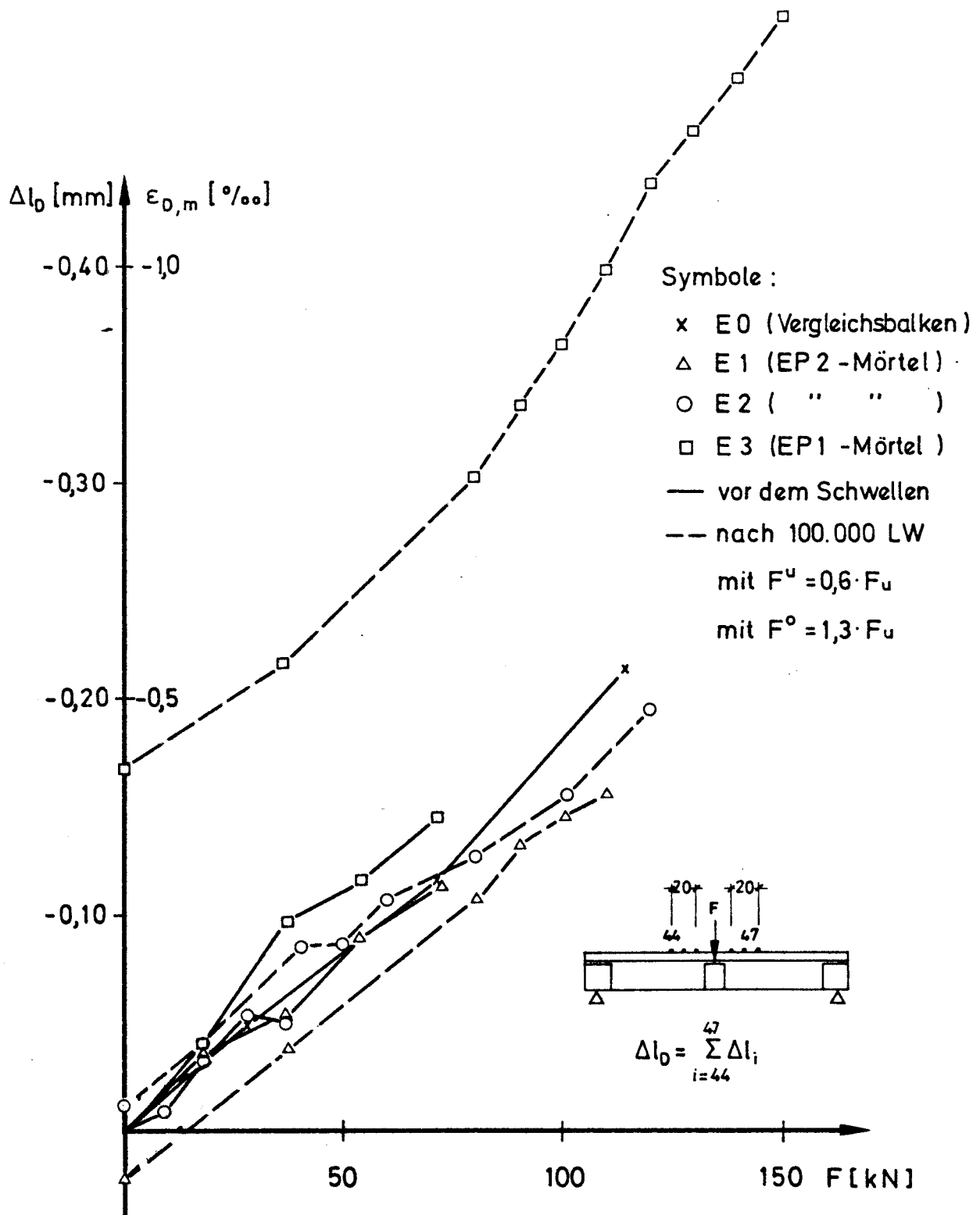


Bild 28: Längenänderung am Druckrand vor und nach der Schwellbeanspruchung

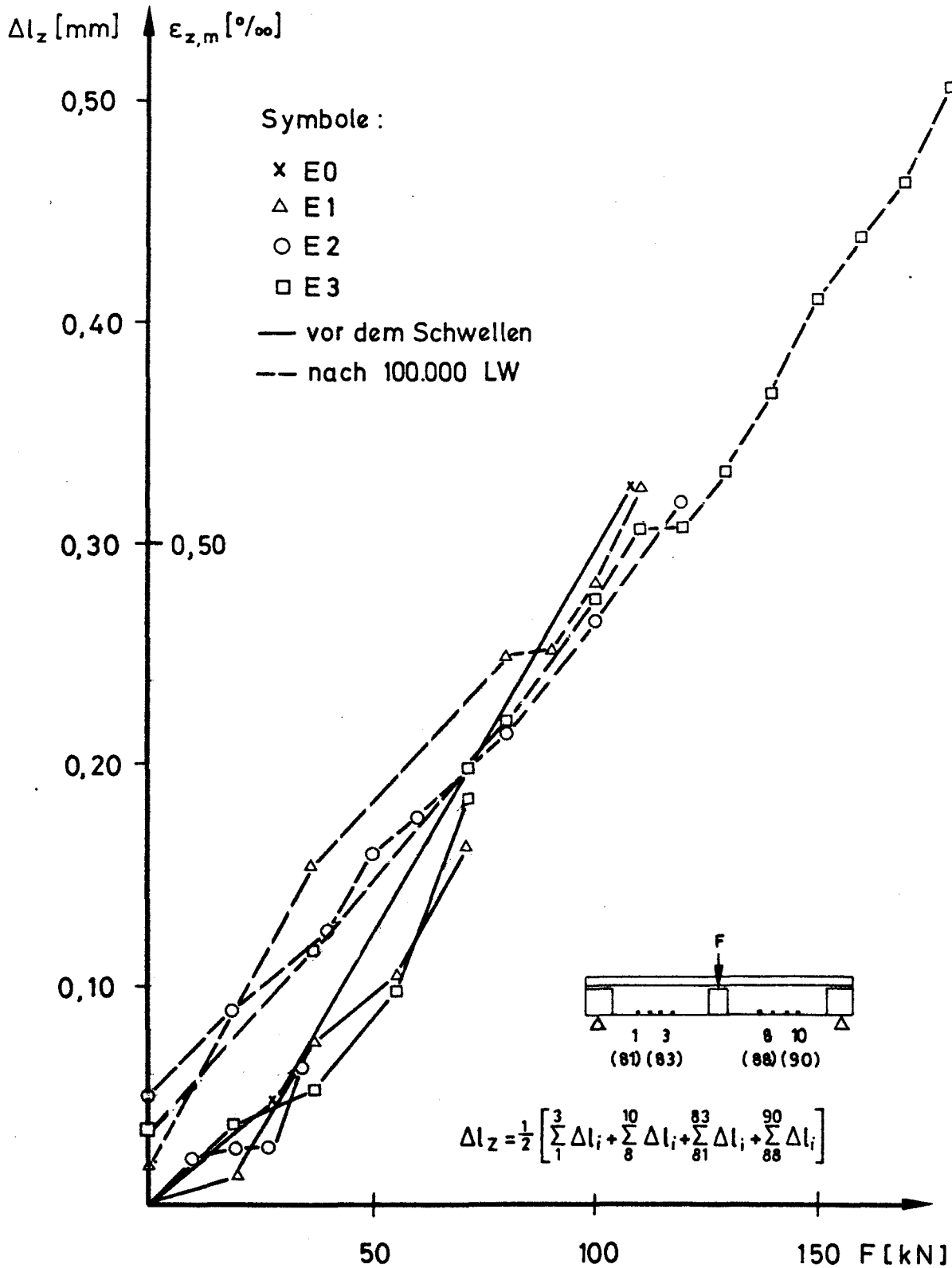


Bild 29: Längenänderung am Zugrand vor und nach Abschluß der Schwellbeanspruchung

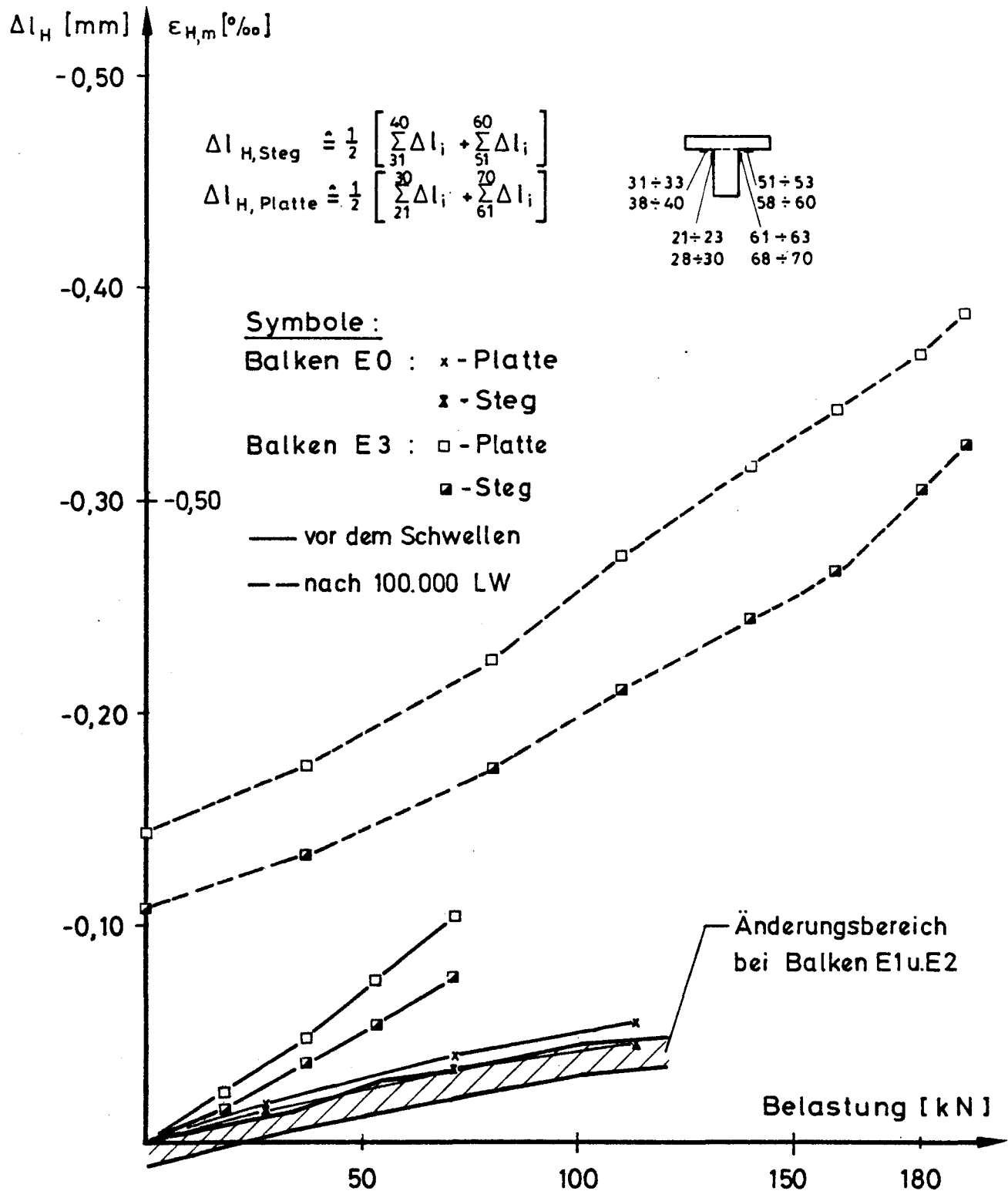


Bild 30: Längenänderung an der Haftpuge vor und nach Abschluß der Schwellbeanspruchung

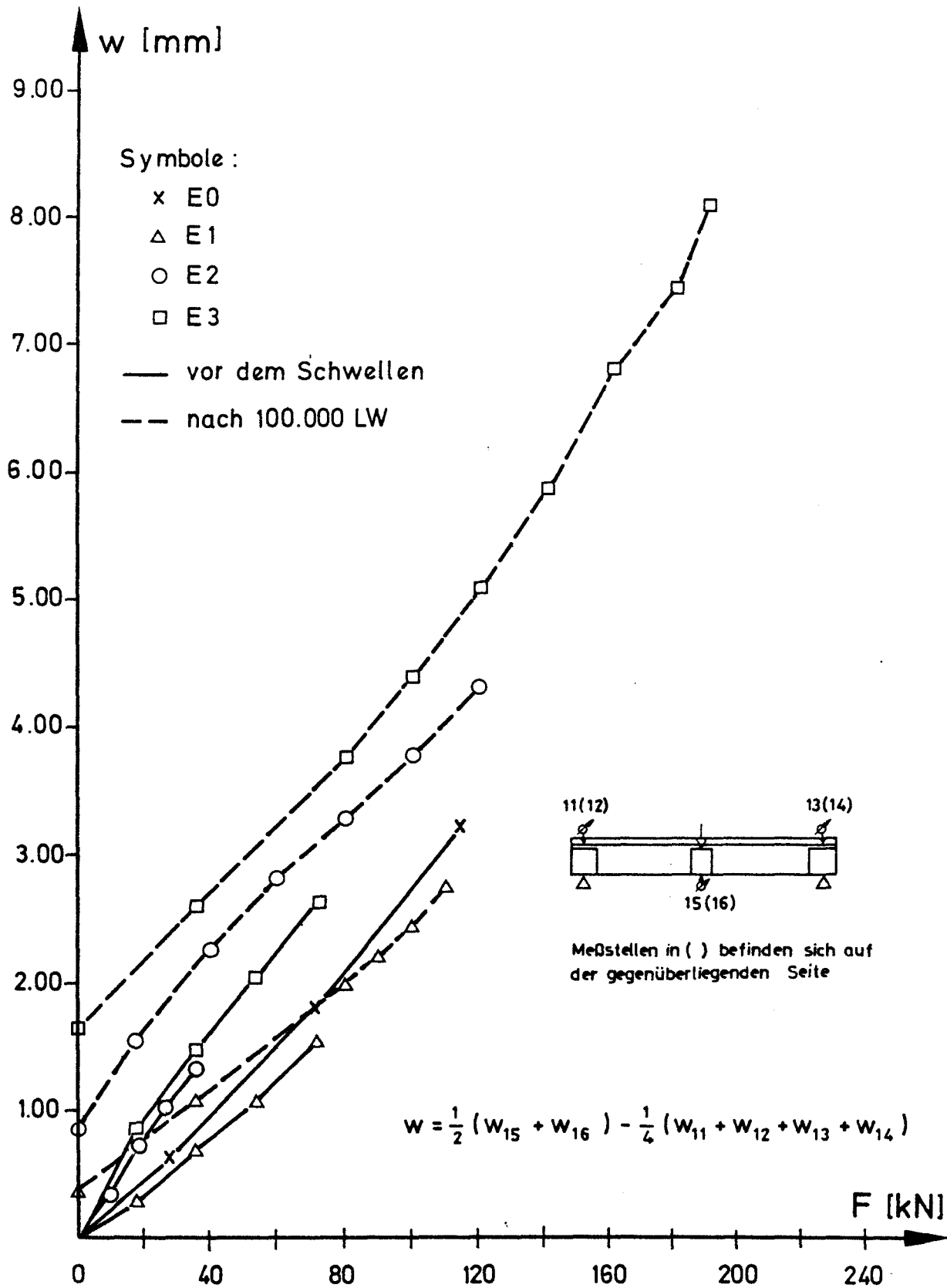


Bild 31 : Durchbiegung in Feldmitte vor und nach Abschluß der Schwellbeanspruchung

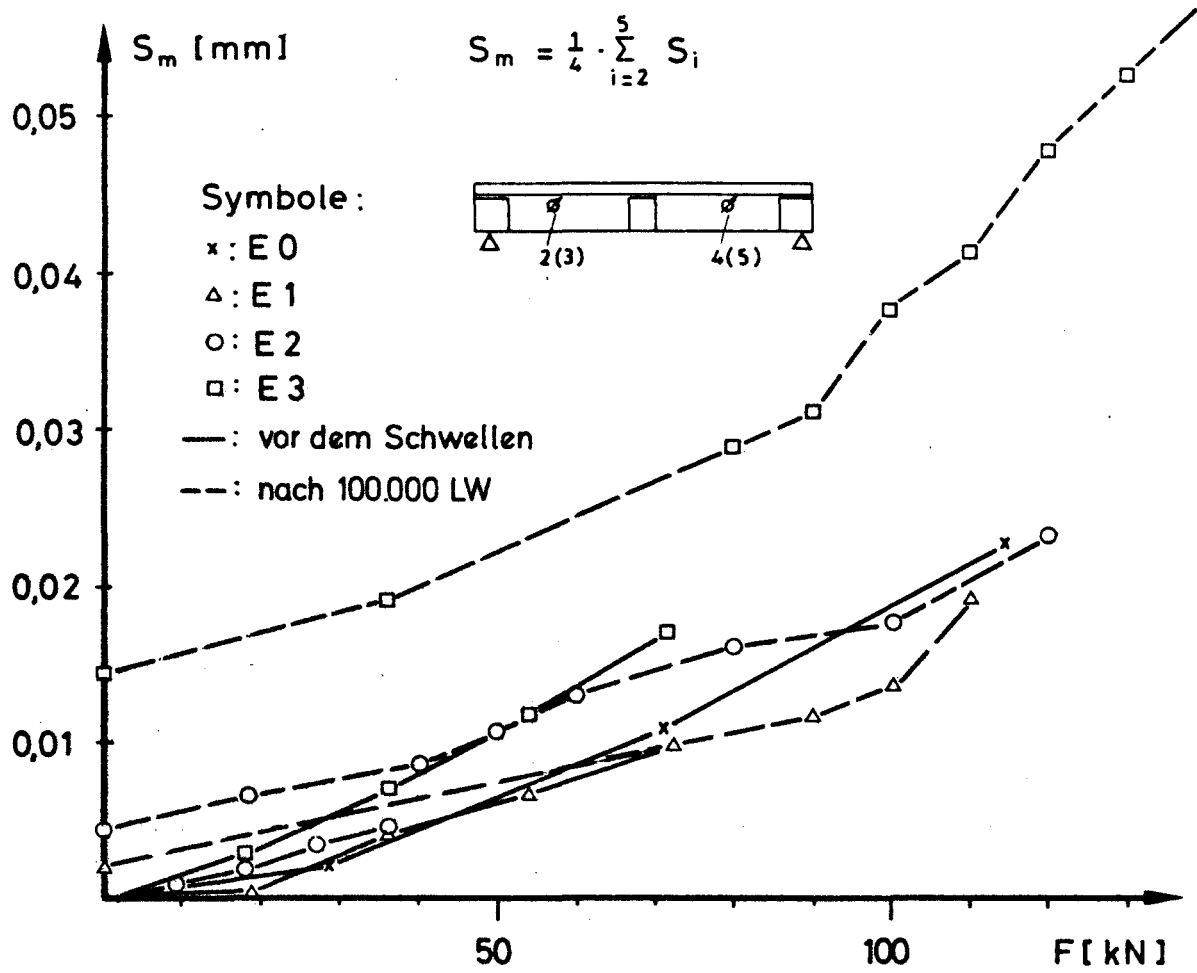
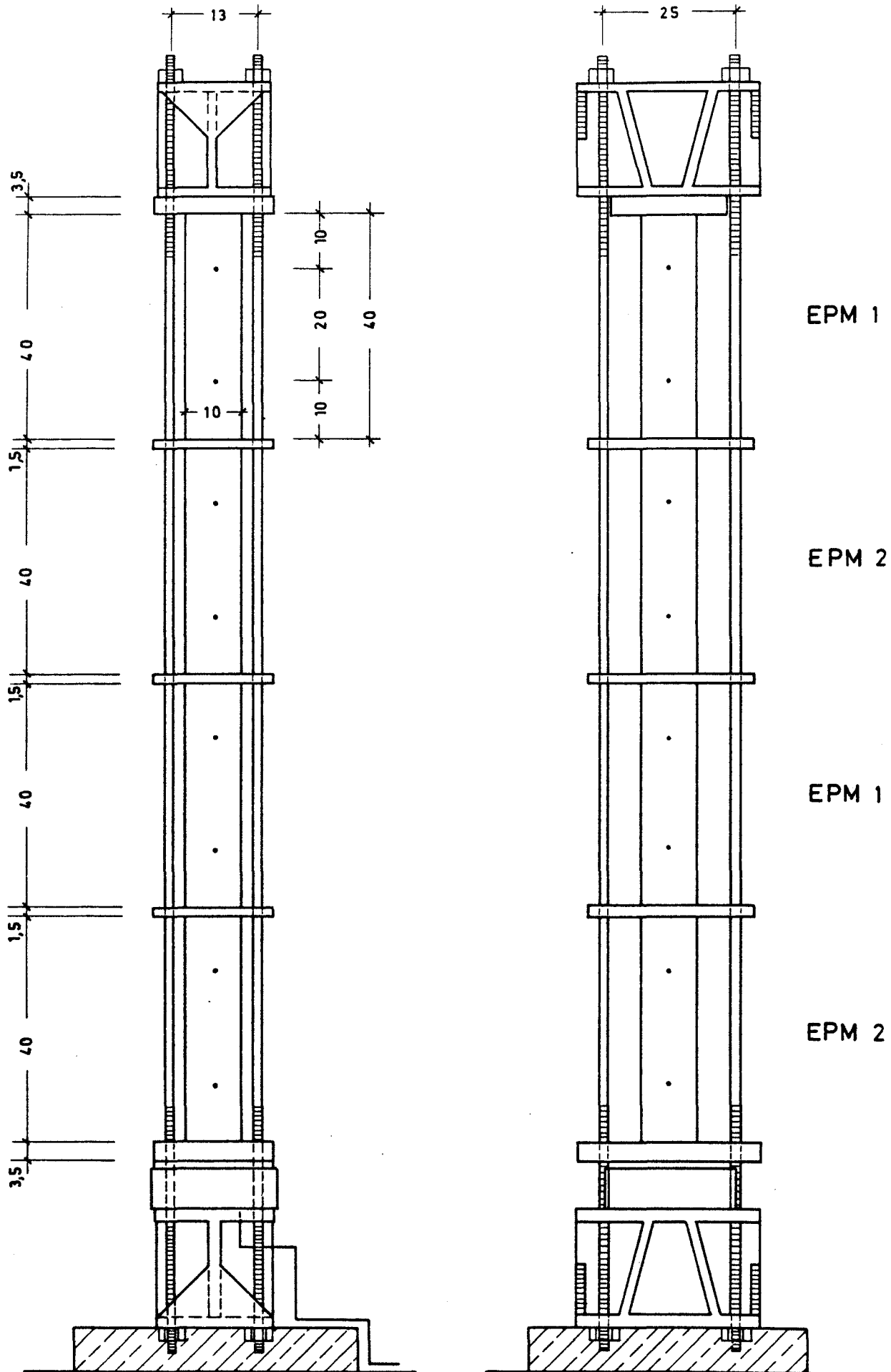
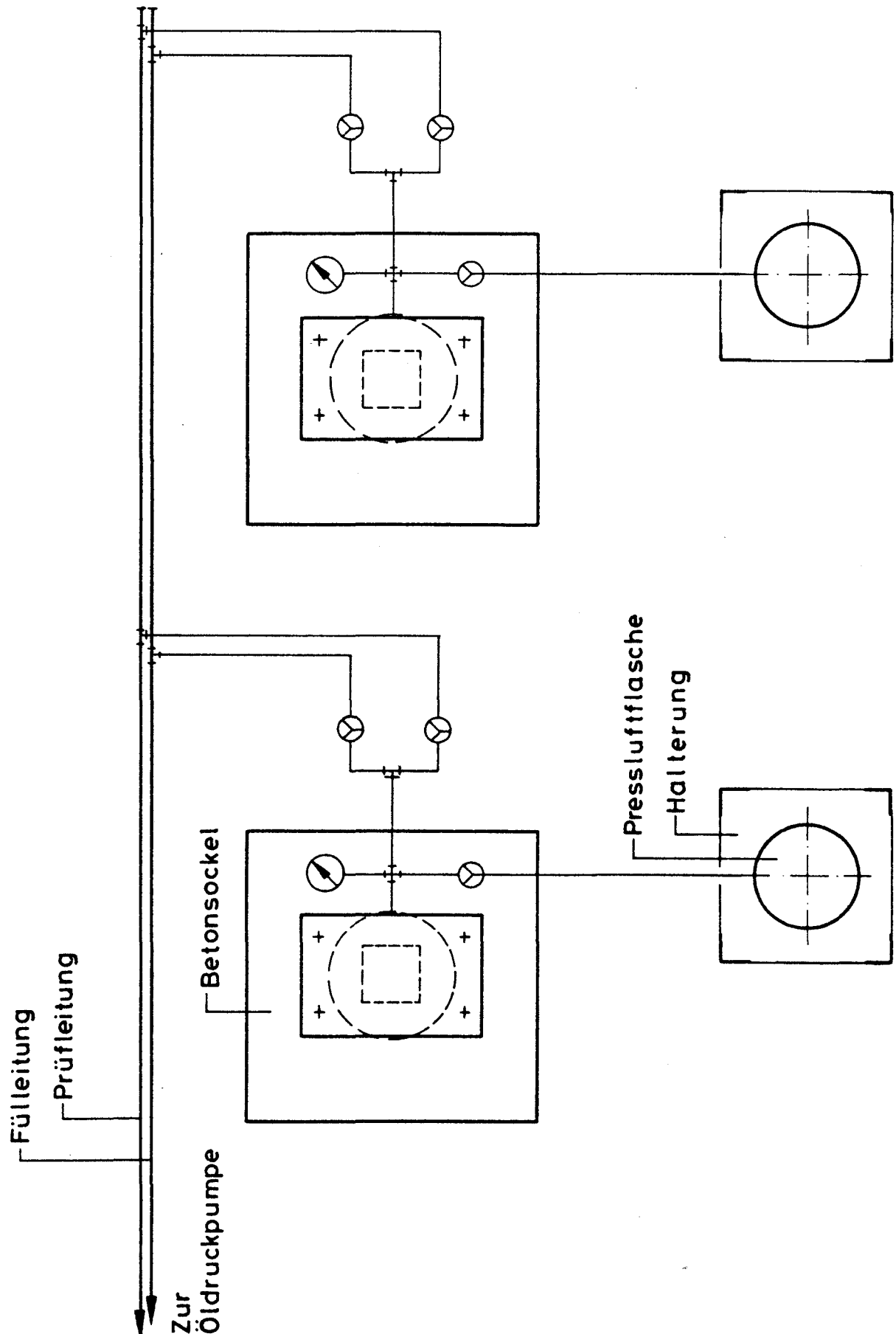


Bild 32: Ergebnisse der Schlupfmessung s_m vor und nach Abschluß der Schwellbeanspruchung



**Bild 33 : Belastungseinrichtung der Kriechversuche
Ansichten**

Bild 34 Belastungseinrichtung der Kriechversuche
Draufsicht



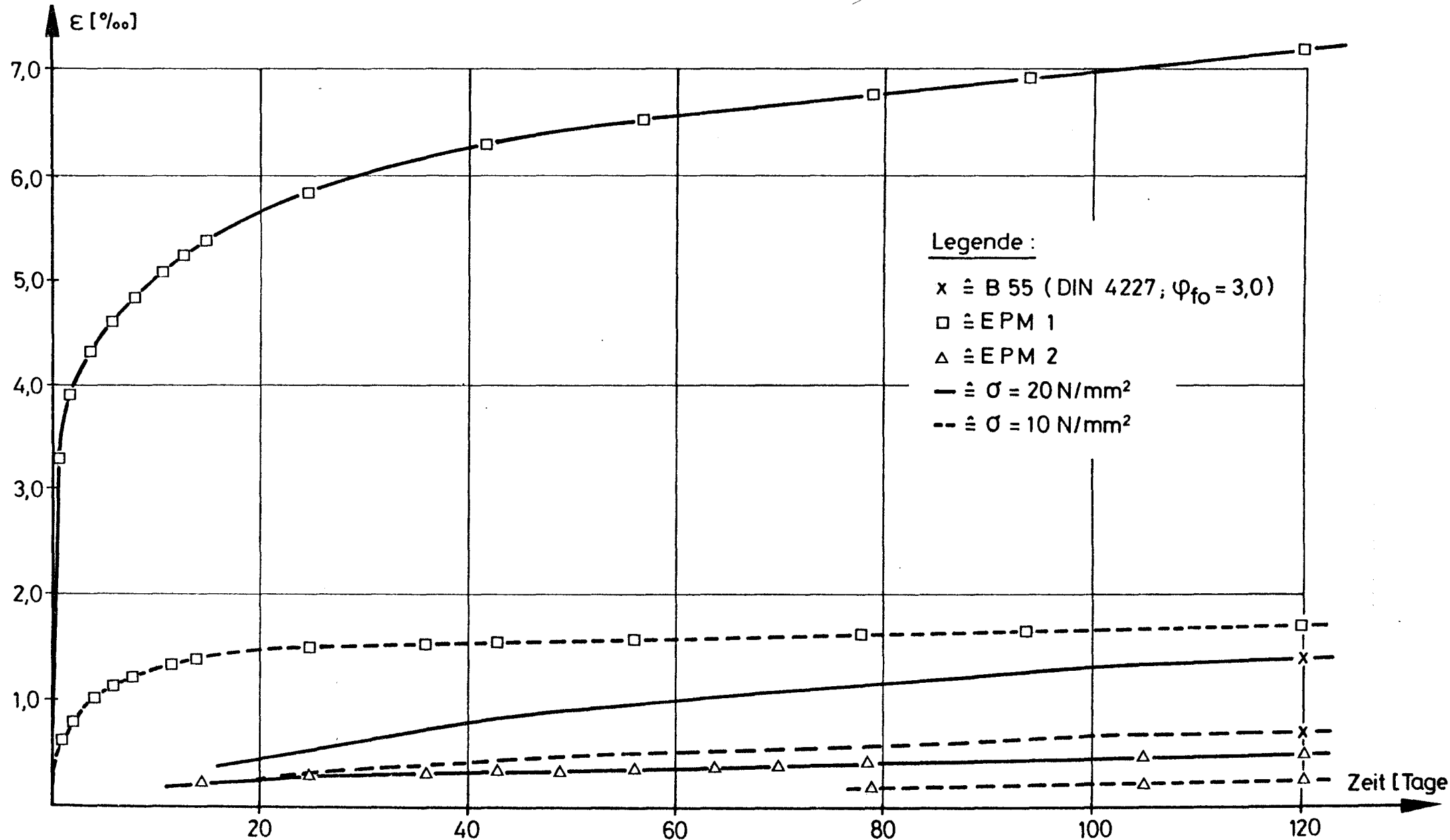


Bild 35 Kriechdehnung von Reaktionsharzmörteln (Probekörper: 10/10/40)

11. TABELLEN ZUM SCHLUßBERICHT

Prüfkörper zu		L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8	L 9	L 10
Druckfestigkeit $R_{wS,28}$	$\frac{N}{mm^2}$	43,7	41,7	44,3	39,1	41,7	37,5	36,5	40,6	46,7	38,8
Druckfestigkeit bei Balkenbruch	$\frac{N}{mm^2}$	42,7	42,7	48,2	44,3	43,6	37,4	38,6	46,2	54,2	40,1
Spaltzugfestigkeit $R_{SZ,28}$	$\frac{N}{mm^2}$	3,6	3,2	3,3	3,2	3,4	3,2	3,0	3,2	3,4	3,5

Tabelle 1: Festigkeit der Prüfkörper zu Versuchsbalken L1 bis L10

Versuchsbalken			L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8
Rißbreite - Sollwert -	w_{min}	mm	0,6	0,2	0,6	0,2	0,6	0,2	0,4	0,4
	w_{max}	mm	1,2	0,6	1,2	0,6	1,2	0,6	1,2	1,2
Rißbreite - Istwert -	w_{min}	mm	0,09 bis 1,17	0,02 bis 0,43	0,10 bis 0,85	0,30 bis 0,93	0,05 bis 1,37	0,16 bis 1,20	0,18 bis 1,60	0,30 bis 1,30
	w_{max}	mm	0,16 bis 1,47	0,19 bis 1,07	0,35 bis 1,15	0,50 bis 1,22	0,14 bis 2,00	0,55 bis 1,82	0,50 bis 2,10	0,67 bis 1,95

Tabelle 2: Angestrebte und erreichte Rißbreiten bei Überlastung der Versuchsbalken L 1 bis L 8

		EP 1	EP 2	EP 3	UP 1	UP 2
Harz	Hersteller Markenname	Concrete Chemie Concretin IH A	Schering AG Euresyst 850 A	Ciba-Geigy AG Araldit BY 156	Hüls Vestopal 400	BASF Pulatal A 410
	Gew.-Anteil (%)	75	66,5	79,5	86,0	86,0
Härter	Hersteller Markenname	Concrete Chemie Concretin IH B	Schering AG Euresyst 850 B	Ciba-Geigy AG HY 2996	Benzoylper- oxid	Benzoylper- oxid
	Gew.-Anteil (%)	25	33,5	20,5	2,0	2,0
Beschleuniger	Name	-	-	-	Dimethylanin	Dimethylanin
	Gew.-Anteil (%)	-	-	-	2,0	2,0
Verdünnungs- mittel	Name	-	-	-	Styrol	Styrol
	Gew.-Anteil (%)	-	-	-	10,0	10,0
Viskosität (cP) bei $\sim 25^{\circ}\text{C}$		ca. 350 *)	ca. 300 *)	ca. 650	ca. 600 *)	ca. 450 *)
Topfzeit (min) bei $\sim 23^{\circ}\text{C}$		ca. 40 *)	ca. 15*)	ca. 40	ca. 60 *)	ca. 60 *)

*) nach eigener Messung mit Brookfield Viscometer (500 g)

Tabelle 3: Reaktionsharzsysteme für L-Balken Verpressung







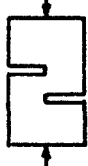

		Stand 1	Stand 2	Stand 3	Stand 4	Stand 5
F_{Anfang}	kN	75	75	75	75	75
F_{Ende}	kN	74	73	70	73	67
Verlust	%	1,3	2,7	6,7	2,7	10,7

Tabelle 4: Ankerkraftverlust im Verlauf der Lagerung im Freien
nach Meßdosenmessung

Versuchs- balken	Rißlast - ZB - Rechnung -	Rißlast - RH - Versuch -	$\eta_1 = \frac{F_{R,RH}}{F_{R,ZB}}$	Traglast - Rechnung -	Traglast - Versuch -	$\eta_2 = \frac{F_{u,Vers.}}{F_{u,Rechn.}}$
Bezeichnung	$F_{R,ZB}$ (kN)	$F_{R,RH}$ (kN)	%	$F_{u,Rechn.}$ (kN)	$F_{u,Vers.}$ (kN)	%
L 1	~ 80	~ 150	187	~ 210	248	118
L 2		~ 150	187		237	113
L 3		~ 130	162		265	126
L 4		~ 130	162		280	133
L 5		~ 130	162		261	124
L 6		~ 150	187		257	122
L 7		~ 110	137		243	116
L 8		~ 130	162		238	113
L 9		-	-		235,5	112
L 10		-	-		237	113

Tabelle 5: Ergebnisse der Bruchversuche an L-Balken

Tabelle 6: Versuchskörper zur Prüfung der Grundwerkstoffe

Prüf - körper- form	Prüfkörper	Anzahl	Abmessungen	Mess - größen	Prüfmaterial
1		3	20/20/20	β_w^z	Zementbeton
2		3	10/10/10	β_w^R	alle Reaktionsharz- mörtel
3		3 3	15/15/70	β_p^z E_b	Zementbeton
4		3 3	15/15/70	β_p^R E_R	alle Reaktionsharz- mörtel
5		3	8/8/32	β_{sd}^z	Zementbeton
6		3	8/8/32	β_s^R	alle Reaktionsharz- mörtel
7		3	15/10/35	β_c^z	Zementbeton
8		3	15/10/35	β_c^R	alle Reaktionsharz- mörtel

Eigenschaft	EP 1	EP 2	UP 1	UP 2
Harz	mittelvisk. lösungsmittel-freies EP-Harz	mittelvisk. lösungsmittel-freies EP-Harz	ungesättigter Polyester in Styrollösung	ungesättigter Polyester in Styrollösung
Härter	reaktives EP-Harz	formulierter Polyaminhärter	Benzoylper-oxid	Benzoylper-oxid
Beschleuniger	-	-	Amin	Amin
Dichte bei 25 °C (g/cm³)	1,09	1,07	1,06	1,08
Viskosität bei 25 °C (m Pa · s)	ca. 1500	ca. 1000	ca. 500	ca. 450
Verarbeitung bis zu Temp. von °C	5	5	5	5
Verklebung auf nassem Untergrund	+	+	-	-
Verklebung auf mittelf. Untergrund	+	+	+	+
Beständigkeit gegen Alkali-reaktion	+	+	+	+

+ anwendbar
- nicht vorgesehen

Tabelle 7: Eigenschaften der Harze nach Angaben der Hersteller

Tabelle 8 : Zusammensetzung der Reaktionsharzmörtel

	EP 1		EP 2		UP 1		UP 2	
	Markenname	Gew.- teile	Markenname	Gew.- teile	Markenname	Gew.- teile	Markenname	Gew.- teile
Harz	Euresyst 851 A	60,6	Araldit 154	67,3	Vestopal 400	79,7	Palatal A 410	79,7
Härter	Euresyst 851 B	30,3	HY 2995	23,6	Lucidolpulv. 50 (Benzoylper- oxid 50%ig)	1,6	Lucidolpulv. 50 (Benzoylper- oxid 50%ig)	1,6
Beschleuniger	-	-	-	-	6410 (Dimethylani- lin 10%ig)	1,6	6410 (Dimethylani- lin 10%ig)	1,6
Verdünnungs- mittel	-	-	-	-	Styrol	8,0	Styrol	8,0
Zuschläge	-	909,1	-	909,1	-	909,1	-	909,1
Mischungsver- hältnis	1 : 10		1 : 10		1 : 10		1 : 10	
Topfzeit bei 23° C	~ 35 min		~ 50 min		~ 75 min		~ 70 min	

Die Gewichtsteile beziehen sich auf einen Ansatz für 1000 g Fertigmörtel

Tabelle 9: Materialprüfung der Grundwerkstoffe

Prüf- körper- form	Festigkeit	ZB		EP 1		EP 2		UP 1		UP 2	
		einzel	mittel	einzel	mittel	einzel	mittel	einzel	mittel	einzel	mittel
		N/mm ²		N/mm ²		N/mm ²		N/mm ²		N/mm ²	
1 und 2	Würfeldruckfestigkeit β_w	30,2	31,5	70,7	70,4	101,0	101,0	89,5	92,0	91,5	93,6
		31,7		71,0		92,0		94,0		96,0	
		32,5		69,5		110,0		92,5		93,4	
3 und 4	Prismendruckfestigkeit β_p	28,0	27,0	58,7	59,5	92,0	87,4	81,8	81,1	88,2	86,6
		26,0		59,6		87,8		82,1		82,7	
		28,0		60,1		82,3		79,4		89,0	
	E-Modul E	29600	28400	-	11900	28800	27800	28500	28700	25700	25500
		28100		11400		27300		28900		25400	
		27500		12400		27200		28800		25500	
5 und 6	Schub-Druck- festigkeit) ⁺ β_{SD}	8,74 / 15,1	8,28 / 14,4	18,0 / 31,1	17,2 / 29,8	25,9 / 44,9	25,8 / 44,7	21,9 / 37,9	22,1 / 38,3	22,6 / 39,1	21,3 / 36,8
		7,95 / 13,8		16,0 / 27,8		26,0 / 45,1		21,7 / 37,7		20,8 / 35,9	
		8,16 / 14,1		17,6 / 30,4		25,4 / 44,0		22,7 / 39,3		20,6 / 35,6	
7 und 8	Schubhaft- festigkeit β_τ	5,05	5,20	13,1	12,3	17,2	17,6	17,3	16,7	20,7	20,3
		5,22		12,1		17,7		15,1		20,3	
		5,35		11,7		18,0		17,6		19,8	

) ⁺ Werte: σ/τ

	Reaktionsharzsystem		Reaktionsharzmörtel	
	γ [kN/m ³]	α_t [K ⁻¹]	γ [kN/m ³]	α_t [K ⁻¹]
EP 1	10,9	$78,6 \cdot 10^{-6}$	20,3	$20,6 \cdot 10^{-6}$
EP 2	10,7	$59,3 \cdot 10^{-6}$	20,8	$16,3 \cdot 10^{-6}$
UP 1	10,6	$59,0 \cdot 10^{-6}$	21,1	$14,6 \cdot 10^{-6}$
UP 2	10,8	$61,9 \cdot 10^{-6}$	21,2	$15,9 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 10: Raumgewicht γ und Ausdehnungskoeffizient α_t der Reaktionsharze und Kunstharzmörtel

Serie	Temperatur		Ober- fläche	Feuchte	Harze			
	T _{Kleb}	T _{Prüf}			O _n	F _n	EP 1	EP 2
1	23°	23°	O ₁	F ₁	3	3	-	-
2				F ₂	3	3	3	3
3				F ₃	3	-	3	-
4			O ₂	F ₁	-	-	-	-
5				F ₂	3	3	3	3
6				F ₃	-	-	-	-
7		-10°		F ₂	3	-	3	-
8		60°			3	-	3	-
Versuchskörperanzahl				∑	18	9	15	6
				gesamt	48) ¹			

)¹ 48 Schubdruckkörper und 48 Scherkörper

O1 = bruchraue Oberfläche

O2 = sandgestrahlte Oberfläche

F1 = stark feuchter Zementbeton

F2 = mittlere Feuchte des Zementbetons

F3 = trockener Zementbeton

Tabelle 11: Variationsschema der Verbundversuche zwischen Zementbeton und Reaktionsharzmörteln

23° C F2	Oberfläche 01						Oberfläche 02					
	Schub-Druckversuche			Scherversuche			Schub-Druckversuche			Scherversuche		
	G/τ	B	G_m/τ_m	τ	B	τ_m	G/τ	B	G_m/τ_m	τ	B	τ_m
EP 1	6,28/10,9	+	5,35/9,27	4,25	o	3,74	3,80/6,58	o	5,58/9,66	3,14	o	3,30
	5,12/8,87	+		3,76	o		7,36/12,8	o		2,98	o	
	4,65/8,06	+		3,22	o		-	+		3,77	o	
EP 2	8,43/14,6	o	8,48/14,7	4,66	o	4,56	5,32/9,21	o	5,64/9,77	3,78	o	3,48
	11,6/20,1	+		4,47	o		8,54/14,8	o		3,05	o	
	8,53/14,8	o		4,56	o		5,96/10,3	o		3,61	+	
UP 1	9,01/15,6	+	7,77/13,5	4,04	+	3,93	2,28/3,94	o	4,12/7,13	1,93	+	1,92
	10,7/18,6	+		3,83	+		3,85/6,67	o		1,20	+	
	6,53/11,3	+		3,02	+		4,39/7,60	o		2,64	+	
UP 2	9,74/17,2	+	6,82/11,8	3,50	+	3,60	1,54/2,74	+	1,91/3,31	0,24	+	0,50
	6,35/11,0	+		3,25	+		-	+		0,76	+	
	7,29/12,6	+		4,05	+		2,24/3,88	+		2,47	+	

Spalte B: + = Betonbruch - = Harzbruch o = Mischbruch

Tabelle 12: Variation der Oberflächen 01 und 02
Einzel- und Mittelwerte in N/mm²

	Feuchtegehalt des Zementbetons					
	Nr.	G _{F1} [g]	G _{F2} [g]	G _{F3} [g]	Feuchtegeh. [%]	mittl. Feuchte [%]
Schub-Druckkörper	1	2098	-	1999	4,95	F1: <u>5,24</u>
	2	2147	-	2039	5,29	
	3	2198	-	2085	5,41	
	4	2102	-	2005	4,83	
	5	2130	-	2015	5,70	
	6	2179	-	2070	5,26	
	7	-	2028	1966	3,15	F2: <u>3,17</u>
	8	-	2070	2011	2,93	
	9	-	2100	2035	3,19	
	10	-	2110	2045	3,17	
	11	-	2047	1980	3,38	
	12	-	2105	2039	3,23	
Scherkörper	1	6555	-	6322	3,68	F1: <u>3,90</u>
	2	6408	-	6174	3,79	
	3	6468	-	6220	3,82	
	4	6430	-	6180	4,04	
	5	6495	-	6255	3,83	
	6	6440	-	6175	4,29	
	7	-	6329	6175	2,49	F2: <u>2,42</u>
	8	-	6350	6222	2,05	
	9	-	6490	6332	2,49	
	10	-	6234	6082	2,49	
	11	-	6249	6084	2,71	
	12	-	6292	6150	2,30	

Tabelle 13:

23° C 01	Feuchte F1						Feuchte F2						Feuchte F3					
	Schub-Druckversuch			Scherversuch			Schub-Druckversuch			Scherversuch			Schub-Druckversuch			Scherversuch		
	G/τ	B	G _m /τ _m	τ	B	τ _m	G/τ	B	G _m /τ _m	τ	B	τ _m	G/τ	B	G _m /τ _m	τ	B	τ _m
EP 1	13,3/23,1	o	5,11/8,88	2,07	o	2,25	6,28/10,9	+	5,35/9,27	4,25	o	3,74	6,07/10,5	o	5,14/8,91	4,53	o	4,25
	5,22/9,10	o		2,06	+		5,12/8,87	+		3,76	o		4,02/6,96	o		3,92	o	
	5,00/8,66	o		2,63	o		4,65/8,06	+		3,22	o		5,34/9,25	o		4,31	o	
EP 2	8,78/14,3	-	8,50/14,7	6,65	o	5,43	8,43/14,6	o	8,48/14,7	4,66	o	4,56	-		-	-		-
	8,24/14,3	+		6,65	o		11,6/20,1	+		4,47	o		-			-		
	5,72/9,90	+		4,98	o		8,53/14,8	o		4,56	o		-			-		
UP 1	-		-	-		-	9,01/15,6	+	7,77/13,5	4,04	+	3,93	7,75/13,4	+	7,98/13,8	3,99	o	4,08
	-			-			10,7/18,6	+		3,83	+		8,20/14,2	+		4,17	o	
	-			-			6,53/11,3	+		3,02	+		3,23/5,60	+		2,86	o	

Spalte B: + = Betonbruch - = Harzbruch o = Mischbruch

Tabelle 14: Variation der Feuchtegehalte F1, F2 und F3
Einzel- und Mittelwerte in N/mm²

02 F2	- 10° C						+ 23° C						+ 60° C					
	Schub-Druckversuch			Scherversuch			Schub-Druckversuch			Scherversuch			Schub-Druckversuch			Scherversuch		
	σ/τ	B	σ_m/τ_m	τ	B	τ_m	σ/τ	B	σ_m/τ_m	τ	B	τ_m	σ/τ	B	σ_m/τ_m	τ	B	τ_m
EP 1	8,17/14,2	+	7,61/13,2	5,01	+	6,00	3,80/6,58	o	5,58/9,66	3,14	o	3,30	4,87/8,43	+	4,69/8,13	2,72	o	2,62
	7,10/12,3	+		6,74	+		7,36/12,8	o		2,98	o		5,02/8,71	+		2,53	o	
	7,55/13,1	+		6,25	+		-	+		3,77	o		4,19/7,26	o		1,80	o	
UP 1	7,27/12,6	+	7,67/13,3	4,81	+	4,87	2,28/3,94	o	4,12/7,13	1,93	+	1,92	5,61/9,71	+	5,35/9,26	2,42	o	2,91
	8,06/14,0	+		3,64	o		3,85/6,67	o		1,20	+		5,35/9,26	+		3,12	+	
	7,69/13,3	+		4,93	+		4,39/7,60	o		2,64	+		5,10/8,83	+		3,20	o	

Spalte B: + = Betonbruch - = Harzbruch o = Mischbruch

Tabelle 15: Variation der Temperatur
Einzel- und Mittelwerte in N/mm²

Reaktionsharzsystem	Haftfugen- rauhigkeit	Versagen	Bruchlast	Scherfläche		Scherspannung τ_s	Vergleichswert (Tabelle 12) $F_2 - 23^\circ\text{C}$	Restfestigkeit
				Länge	Breite			
			kN	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	%
EP 1	fein $\sim O_2$	Beton	23,0	98	62	3,8	3,3	115
	mittel	Beton	26,5	102	68	3,8	3,52 *)	108
	grob $\sim O_1$	Beton	21,4	103	72	2,9	3,74	78
EP 2	fein $\sim O_2$	Beton	24,6	98	70	3,6	3,48	103
	mittel	Beton	24,0	100	65	3,7	4,02 *)	92
	grob $\sim O_1$	Beton- Fuge	15,0	96	62	2,5	4,56	55
UP 1	fein $\sim O_2$	Fuge	2,4	101	54	0,44	1,92	23
	mittel	Fuge	5,5	96	64	0,89	2,93 *)	30
	grob $\sim O_1$	Fuge	7,2	100	61	1,18	3,93	30
UP 2	fein $\sim O_2$	Fuge	-	-	-	0	0,50	0
	mittel	Fuge	5,0	102	61	0,8	2,05 *)	39
	grob $\sim O_1$	Fuge	9,1	101	63	1,4	3,60	39

Mit *) bezeichnete Werte wurden durch Mittelung der Werte $\tau_0(O_1)$ und $\tau_0(O_2)$ nach Tabelle 12 bestimmt.

Tabelle 16: Haftfestigkeitsbeeinflussung durch Temperaturwechsel

		Temperatur		+ 23 °C			- 10°C + 60°C		- 20°C bis + 40°C		
		Oberfl.		O ₁			O ₂		fein	mittel	grob
		FEW.		F ₁	F ₂	F ₃	F ₂				
EPM1/ZB		k _s k _{SD}	0,43 0,62	0,72 0,65	0,82 0,62	0,63 0,67	1,15 0,92	0,50 0,57	0,73 -	0,73 -	0,56 -
EPM2/ZB		k _s k _{SD}	1,04 1,03	0,88 1,02	- -	0,67 0,68	- -	- -	0,69 -	0,71 -	0,48 -
UPM1/ZB		k _s k _{SD}	- -	0,75 0,94	0,78 0,96	0,37 0,50	0,94 0,93	0,50 0,65	0,08 -	0,17 -	0,23 -
UPM2/ZB		k _s k _{SD}	- -	0,69 0,82	- -	0,10 0,23	- -	- -	0,0 -	0,15 -	0,27 -

Tabelle 17: k-Faktoren zur Bestimmung der Schubhaft- und Schubdruckfestigkeit bei unterschiedlichen physikalischen Randbedingungen

Es gilt

$$\tau_S = k_S \cdot \tau_o \text{ und}$$

$$\tau_{SD}/\sigma_{SD} = k_{SD} \cdot (\tau_1/\sigma_1)$$

wobei für

$$\tau_o = 5,20 \text{ N/mm}^2$$

und

$$\tau_1/\sigma_1 = 8,28/14,4 \text{ N/mm}^2$$

anzusetzen ist
(vergl. Tabelle 9)

Balken- bezeichnung	Druckfestigkeit 20 cm-Würfel		Spaltzugfestigkeit Ø 15, l = 30 cm Zyl.
	$\beta_{wS,28}$	$\beta_{wS,Versuch}$	$\beta_{SZ,Versuch}$
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
E 0	34,1	35,0	2,67
E 1	33,1	36,3	2,50
E 2	45,0	46,2	3,48
E 3	33,2	34,1	1,92

Tabelle 18: Festigkeit der Prüfkörper zu E-Balken

Balken				Bruchlast	Haftfestigkeit $\text{vorh } \tau = \frac{Q \cdot S_{II}}{J_{II} \cdot b}$	Vergleichswert τ_o	$\eta = \frac{\text{vorh } \tau}{\tau}$
Bez.	Aufh.bew.	Platte	Kontakt- fläche	kN	N/mm ²	N/mm ²	%
E 0	-	ZB	monolithisch hergestellt	131,5	~ 2,5	5,20	48
E 1	-	EPM2	gesand- strahlt	120	~ 2,3		44
E 2	-	EPM2	steinmetzar- tig gespitzt	130	~ 2,5		48
E 3	ja	EPM1	gesand- strahlt	200	~ 3,9		75

Tabelle 19: Ergebnis der Bruchversuche an E-Balken

M e ß w e r t e

- Anlagen 1 bis 5 -

zum
Schlußbericht

Forschungsvorhaben F.A. 15.026 R 75 H

Dauerhaftigkeit von Kunstharzen und Kunstharzmörteln
für die Sanierung von Massivbrücken

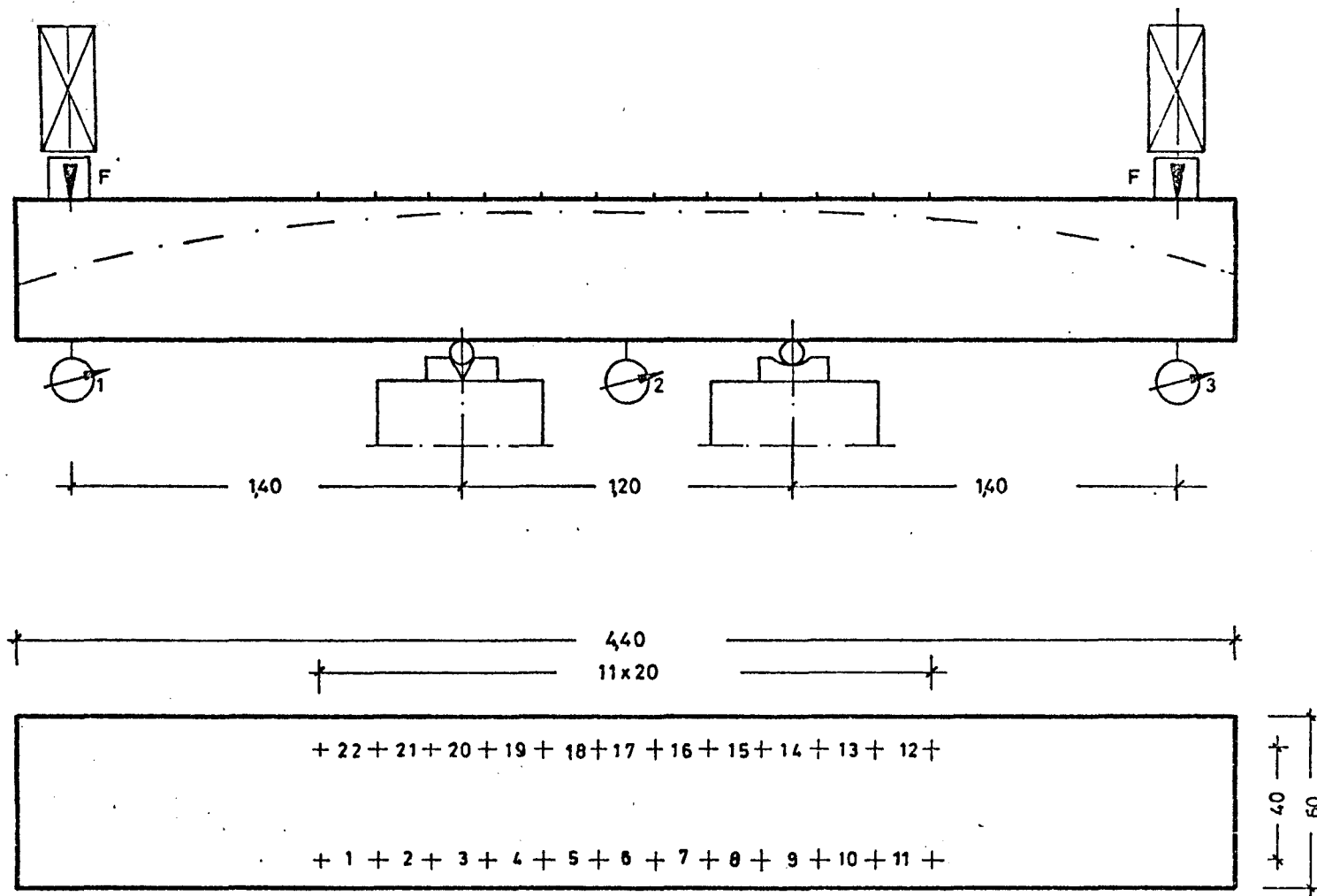
<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
<u>Anlage 1</u>	3
Versuchsbalken K1	
Meßstellenanordnung	4
Tabelle 1.1: Längenänderungen am Biegezugrand	5
Tabelle 1.2: Durchbiegungen	11
<u>Anlage 2</u>	12
Versuchsbalken L1 bis L10	
Längenänderung unter Dauerlast bei Lagerung im Freien	
Meßstellenanordnung	13
Meßstellen A1 bis A4, S1 bis S4, Y1 bis Y4	
Tabelle 2.1: Balkenpaar L1/L2	14
Tabelle 2.2: Balkenpaar L3/L4	16
Tabelle 2.3: Balkenpaar L5/L6	18
Tabelle 2.4: Balkenpaar L7/L8	20
Tabelle 2.5: Balkenpaar L9/L10	22
Meßstellen D1 bis D4, Z1 bis Z4	
Tabelle 2.6: Balken L1	24
Tabelle 2.7: Balken L2	25
Tabelle 2.8: Balken L3	26
Tabelle 2.9: Balken L4	27
Tabelle 2.10: Balken L5	28
Tabelle 2.11: Balken L6	29
Tabelle 2.12: Balken L7	30
Tabelle 2.13: Balken L8	31
Tabelle 2.14: Balken L9	32
Tabelle 2.15: Balken L10	33
<u>Anlage 3</u>	34
Versuchsbalken L1 bis L10	
Längenänderung am Biegezugrand und Balkendurchbiegung vor und nach der Schwellbeanspruchung	
Meßstellenanordnung	35
Längenänderung am Biegezugrand	
Tabelle 3.1: Balken L1	36
Tabelle 3.2: Balken L2	38
Tabelle 3.3: Balken L3	40
Tabelle 3.4: Balken L4	42
Tabelle 3.5: Balken L5	44
Tabelle 3.6: Balken L6	46
Tabelle 3.7: Balken L7	48
Tabelle 3.8: Balken L8	50
Tabelle 3.9: Balken L9	52
Tabelle 3.10: Balken L10	54
Balkendurchbiegung	
Tabelle 3.11: Balken L1	56
Tabelle 3.12: Balken L2	57
Tabelle 3.13: Balken L3	58

	Seite
Tabelle 3.14: Balken L4	59
Tabelle 3.15: Balken L5	60
Tabelle 3.16: Balken L6	61
Tabelle 3.17: Balken L7	62
Tabelle 3.18: Balken L8	63
Tabelle 3.19: Balken L9	64
Tabelle 3.20: Balken L10	65
Anlage 4	66
Versuchsbalken EO bis E3	
Meßstellenanordnung	67
Betondehnungen	
Tabelle 4.1: Versuchsbalken EO	68
Tabelle 4.2: Versuchsbalken E1	69
Tabelle 4.3: Versuchsbalken E2	71
Tabelle 4.4: Versuchsbalken E3	73
Längenänderungen	
Tabelle 4.5: Versuchsbalken EO	76
Tabelle 4.6: Versuchsbalken E1	77
Tabelle 4.7: Versuchsbalken E2	79
Tabelle 4.8: Versuchsbalken E3	81
Durchbiegungen, Schlupf	
Tabelle 4.9: Versuchsbalken EO	84
Tabelle 4.10: Versuchsbalken E1	85
Tabelle 4.11: Versuchsbalken E2	87
Tabelle 4.12: Versuchsbalken E3	89
Anlage 5	92
Kriechversuche	
Kriechdehnungen	
Tabelle 5.1: RHM 1, $\sigma = 10 \text{ N/mm}^2$	94
Tabelle 5.2: RHM 2, $\sigma = 20 \text{ N/mm}^2$	95
Tabelle 5.3: RHM 1, $\sigma = 10 \text{ N/mm}^2$	96
Tabelle 5.4: RHM 2, $\sigma = 20 \text{ N/mm}^2$	97
Rückkriechen	
Tabelle 5.5: RHM 1, $\sigma = 10 \text{ N/mm}^2$	98
Tabelle 5.6: RHM 2, $\sigma = 20 \text{ N/mm}^2$	99
Tabelle 5.7: RHM 1, $\sigma = 10 \text{ N/mm}^2$	100
Tabelle 5.8: RHM 2, $\sigma = 20 \text{ N/mm}^2$	101

A N L A G E 1 :

VERSUCHSBALKEN K1

Draufsicht



VERSUCHSBALKEN K1, MEßSTELLENANORDNUNG

TABELLE 1.1a

BALKEN K1 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1.2	1.3	1.4	● 1.5	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14
GESAMTLAST [kN]	62.0	116.0	170.0	0.0	62.0	116.0	170.0	205.0	240.0	275.0	302.0	329.0
NESSTELLEN-NR	DELTA L [mm]											
1	0.010	0.020	0.040	0.000	0.020	0.030	0.050	0.060	0.190	0.350	0.580	0.800
2	0.020	0.030	0.050	0.000	0.020	0.040	0.040	0.050	0.050	0.080	0.230	0.350
3	0.020	0.040	0.070	0.010	0.030	0.050	0.080	0.130	0.300	0.460	0.720	1.220
4	0.020	0.040	0.080	0.010	0.040	0.090	0.180	0.240	0.310	0.390	0.620	1.250
5	0.020	0.040	0.060	0.000	0.020	0.030	0.050	0.070	0.160	0.250	0.430	0.780
6	0.010	0.050	0.150	0.020	0.060	0.120	0.200	0.260	0.360	0.450	0.680	1.090
7	0.030	0.050	0.090	0.010	0.040	0.080	0.120	0.190	0.330	0.460	0.680	1.060
8	0.020	0.040	0.050	0.000	0.020	0.030	0.040	0.040	0.040	0.060	0.100	0.130
9	0.030	0.050	0.090	0.020	0.050	0.090	0.150	0.230	0.350	0.470	0.770	1.190
10	0.020	0.030	0.060	0.010	0.030	0.040	0.070	0.070	0.230	0.460	0.830	1.100
11	0.000	0.000	0.020	-0.020	-0.010	0.000	0.020	0.020	-0.010	-0.030	-0.650	-0.650
12	0.010	0.030	0.040	0.000	0.010	0.030	0.050	0.070	0.170	0.330	0.620	0.790
13	0.030	0.040	0.060	0.010	0.030	0.040	0.050	0.060	0.070	0.110	0.200	0.300
14	0.030	0.050	0.080	0.010	0.040	0.080	0.120	0.190	0.320	0.450	0.760	1.220
15	0.020	0.040	0.070	0.000	0.020	0.050	0.060	0.070	0.090	0.110	0.180	0.180
16	0.020	0.040	0.070	0.000	0.030	0.060	0.100	0.160	0.290	0.420	0.640	1.020
17	0.030	0.050	0.120	0.010	0.050	0.090	0.170	0.230	0.310	0.310	0.580	1.010
18	0.030	0.060	0.070	0.010	0.040	0.060	0.070	0.080	0.160	0.250	0.420	0.820
19	0.020	0.050	0.090	0.010	0.050	0.090	0.170	0.230	0.320	0.420	0.670	1.360
20	0.020	0.030	0.060	0.000	0.020	0.050	0.080	0.130	0.300	0.460	0.730	1.360
21	0.020	0.030	0.060	0.010	0.020	0.050	0.070	0.090	0.210	0.430	0.790	1.090
22	0.020	0.030	0.040	0.000	0.020	0.030	0.030	0.040	0.040	0.020	0.060	0.100

● 10000 Lastwechsel: $F^u=62.0$ kN, $F^0=170.0$ kN

TABELLE 1.1b

BALKEN K1 , LAENGENAENDERUNG DER RIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1.15 ○	1.17	1.18	1.19	1.20 ●	1.22	1.23	1.24 ▲	1.26	1.27	1.28 ■	1.30
GESAMTLAST [KN]	357.0	0.0	62.0	116.0	170.0	0.0	62.0	170.0	0.0	62.0	170.0	0.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.930	0.27	0.30	0.39	0.55	0.52	0.54	0.56	0.50	0.51	0.54	0.50
2	0.42	0.09	0.11	0.15	0.21	0.13	0.16	0.26	0.11	0.13	0.17	0.12
3	2.18	1.03	1.18	1.42	1.64	1.57	1.59	1.63	1.55	1.56	1.60	1.55
4	1.52	0.94	1.06	1.20	1.38	1.28	1.31	1.36	1.24	1.27	1.32	1.24
5	1.11	0.49	0.57	0.68	0.80	0.81	0.84	0.86	0.79	0.80	0.83	0.79
6	1.47	0.59	0.71	0.87	1.03	0.99	1.02	1.07	0.96	0.99	1.06	0.96
7	1.30	0.44	0.55	0.70	0.87	0.80	0.87	0.89	0.82	0.83	0.87	0.82
8	0.19	0.05	0.06	0.08	0.10	0.04	0.07	0.11	0.03	0.04	0.10	0.03
9	1.41	0.35	0.43	0.60	0.80	0.69	0.74	0.81	0.65	0.70	0.78	0.66
10	1.31	0.38	0.44	0.52	0.69	0.62	0.64	0.70	0.59	0.61	0.67	0.59
11	0.04	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.03	0.04	-0.03	-0.01	-0.03
12	0.90	0.15	0.13	0.26	0.43	0.40	0.42	0.45	0.43	0.45	0.48	0.43
13	0.35	0.08	0.11	0.14	0.17	0.15	0.16	0.19	0.13	0.16	0.22	0.14
14	1.22	0.34	0.64	0.62	0.82	0.71	0.76	0.85	0.68	0.73	0.82	0.69
15	0.22	0.07	0.09	0.10	0.13	0.10	0.11	0.15	0.05	0.08	0.12	0.06
16	1.29	0.60	0.51	0.66	0.83	0.79	0.80	0.86	0.75	0.77	0.83	0.75
17	1.16	0.59	0.71	0.86	1.02	0.99	1.02	1.06	0.96	0.99	1.04	0.97
18	1.15	0.53	0.62	0.72	0.85	0.84	0.86	0.90	0.81	0.83	0.88	0.81
19	1.85	0.93	1.07	1.22	1.38	1.31	1.32	1.36	1.26	1.28	1.33	1.27
20	2.23	1.04	1.19	1.43	1.66	1.60	1.62	1.66	1.56	1.58	1.63	1.56
21	1.21	0.30	0.35	0.48	0.66	0.59	0.61	0.67	0.55	0.58	0.64	0.55
22	0.15	0.04	0.05	0.06	0.09	0.08	0.09	0.10	0.05	0.06	0.07	0.05

○ 10000 Lastwechsel

● verpreßt

▲ 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 1.1c

BALKEN K1 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1.31	1.32 ●	1.34	1.35	1.36 ▲	1.38	1.39	1.40
GESAMTLAST [KN]	62.0	170.0	0.0	62.0	170.0	0.0	62.0	170.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]							
1	0.52	0.54	0.50	0.52	0.53	0.49	0.51	0.53
2		0.18	0.12		0.18	0.12		0.19
3		1.61	1.54		1.61	1.55		1.69
4		1.33	1.25		1.83	1.24		1.33
5		0.84	0.79		0.84	0.79		0.83
6		1.05	0.97		1.06	0.96		1.05
7		0.87	0.82		0.87	0.81		0.87
8		0.11	0.03		0.11	0.02		0.10
9		0.78	0.66		0.78	0.65		0.78
10		0.67	0.60		0.67	0.60		0.67
11		0.00	-0.04		0.00	-0.04		-0.01
12		0.47	0.43		0.48	0.42		0.47
13		0.23	0.14		0.22	0.13		0.22
14		0.82	0.69		0.83	0.69		0.82
15		0.13	0.06		0.13	0.06		0.12
16		0.84	0.75		0.84	0.75		0.83
17		1.04	0.97		1.04	0.97		1.04
18		0.87	0.81		0.86	0.81		0.87
19		1.34	1.27		1.34	1.26		1.33
20		1.63	1.56		1.63	1.56		1.64
21		0.63	0.55		0.63	0.55		0.64
22		0.07	0.06		0.07	0.05		0.08

● 50000 Lastwechsel ▲ 200000 Lastwechsel ■ Lagerung im Freien für 9 Jahre

TABELLE 1.1d

BALKEN K1 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	2.1	2.2	2.3	2.4 ●	2.6	2.7	2.8 ▲	2.10	2.11	2.12 ■	2.14	2.15
GESAMTLAST [KN]	62.0	116.0	170.0	0.0	0.0	62.0	170.0	0.0	62.0	170.0	0.0	62.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.014	0.015	0.016	0.001	-0.003	0.003	0.007	-0.004	0.007	0.005	0.011	0.002
2	0.022	0.044	0.110	0.013	0.028	0.060	0.124	0.040	0.071	0.220	0.034	0.062
3	0.023	0.044	0.057	0.012	0.018	0.042	0.087	0.024	0.047	0.107	0.017	0.041
4	0.034	0.071	0.260	0.039	0.085	0.033	0.371	0.101	0.043	0.383	0.095	0.136
5	0.023	0.035	0.036	0.005	0.007	0.024	0.045	0.007	0.026	0.044	0.002	0.020
6	0.031	0.066	0.185	0.024	0.053	0.099	0.275	0.060	0.103	0.291	0.054	0.096
7	0.026	0.034	0.034	0.004	0.002	0.022	0.034	0.003	0.020	0.032	0.005	0.014
8	0.025	0.050	0.176	0.026	0.053	0.082	0.097	0.056	0.084	0.262	0.007	0.077
9	0.025	0.057	0.245	0.027	0.054	0.097	0.323	0.062	0.100	0.335	0.054	0.091
10	0.024	0.060	0.124	0.009	0.022	0.049	0.149	0.024	0.049	0.157	0.016	0.046
11	0.022	0.029	0.036	0.008	0.014	0.028	0.044	0.013	0.026	0.045	0.007	0.022
12	0.021	0.030	0.027	0.003	0.010	0.025	0.048	0.012	0.026	0.050	0.003	0.020
13	0.021	0.039	0.085	0.006	0.012	0.030	0.090	0.013	0.027	0.092	0.003	0.021
14	0.032	0.075	0.281	0.024	0.062	0.111	0.379	0.072	0.115	0.392	0.064	0.106
15	0.024	0.040	0.102	0.013	0.031	0.056	0.156	0.037	0.058	0.166	0.037	0.052
16	0.025	0.045	0.113	0.010	0.020	0.042	0.129	0.021	0.047	0.132	0.012	0.038
17	0.029	0.050	0.154	0.018	0.034	0.069	0.221	0.042	0.079	0.242	0.035	0.072
18	0.025	0.041	0.044	0.008	0.007	0.031	0.040	0.011	0.033	0.046	0.004	0.027
19	0.025	0.047	0.246	0.028	0.070	0.102	0.334	0.079	0.124	0.335	0.074	0.109
20	0.025	0.045	0.078	0.008	0.021	0.047	0.058	0.022	0.048	0.032	0.006	0.040
21	0.021	0.042	0.089	0.007	0.020	0.047	0.063	0.024	0.054	0.166	0.018	0.046
22	0.020	0.025	0.029	0.005	0.009	0.024	0.028	0.008	0.024	0.033	0.014	0.016

● 10000 Lastwechsel

▲ 40000 Lastwechsel

■ 50000 Lastwechsel

TABELLE 1.1d

BALKEN K1 , LAENGENAENDERUNG DER RIEFZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	2.16	2.17	2.18	2.19	2.20 ●	3.1	3.2	3.3	3.4 ▲	3.6	3.7	3.8
GESAMTLAST [KN]	170.0	205.0	240.0	275.0	0.0	62.0	116.0	170.0	0.0	0.0	62.0	170.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.001	0.004	0.009	0.015	-0.012	0.015	0.026	0.039	-0.002	0.006	0.017	0.044
2	0.218	0.279	0.371	0.478	0.041	0.018	0.030	0.038	0.000	0.006	0.020	0.044
3	0.106	0.136	0.276	0.445	0.052	0.025	0.058	0.125	0.002	0.014	0.032	0.136
4	0.385	0.482	0.579	0.676	0.096	0.029	0.062	0.135	0.002	0.014	0.036	0.148
5	0.040	0.054	0.101	0.175	0.013	0.026	0.048	0.078	0.001	0.007	0.028	0.086
6	0.292	0.369	0.472	0.577	0.063	0.026	0.051	0.083	0.001	0.007	0.031	0.092
7	0.030	0.036	0.057	0.139	0.000	0.026	0.048	0.079	0.000	0.006	0.029	0.081
8	0.271	0.337	0.423	0.476	0.053	0.023	0.066	0.155	0.000	0.010	0.030	0.115
9	0.337	0.426	0.541	0.664	0.068	0.026	0.069	0.149	0.004	0.012	0.038	0.116
10	0.155	0.195	0.262	0.349	0.024	0.031	0.062	0.126	0.002	0.012	0.038	0.136
11	0.043	0.057	0.084	0.187	0.021	0.024	0.060	0.126	0.002	0.013	0.031	0.136
12	0.044	0.057	0.076	0.127	0.000	0.020	0.048	0.110	0.004	0.010	0.024	0.115
13	0.088	0.117	0.272	0.271	0.037	0.027	0.060	0.069	0.002	0.010	0.036	0.128
14	0.392	0.560	0.639	0.766	0.048	0.026	0.067	0.137	-0.001	0.009	0.036	0.145
15	0.165	0.214	0.288	0.375	0.061	0.020	0.063	0.159	0.000	0.010	0.029	0.165
16	0.131	0.164	0.207	0.252	0.004	0.025	0.056	0.108	0.000	0.008	0.031	0.115
17	0.246	0.314	0.426	0.544	0.041	0.022	0.045	0.072	0.000	0.008	0.034	0.080
18	0.045	0.053	0.060	0.089	0.010	0.020	0.040	0.060	0.000	0.006	0.025	0.067
19	0.355	0.455	0.579	0.702	0.041	0.022	0.051	0.138	0.000	0.010	0.043	0.148
20	0.033	0.160	0.297	0.472	0.065	0.020	0.045	0.134	0.000	0.012	0.042	0.146
21	0.161	0.213	0.317	0.427	0.014	0.016	0.029	0.042	-0.001	0.007	0.022	0.047
22	0.027	0.034	0.033	0.029	0.011	0.012	0.024	0.038	-0.002	0.006	0.017	0.047

● verpreßt

▲ 10000 Lastwechsel

TABELLE 1.1e

BALKEN K1 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	● 3.10	3.11	3.12	3.13	3.14	3.15
GESAMTLAST [KN]	0.0	62.0	170.0	205.0	240.0	275.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]					
1	0.005	0.019	0.048	0.059	0.077	0.194
2	0.006	0.023	0.046	0.054	0.063	0.113
3	0.013	0.036	0.136	0.133	0.238	0.269
4	0.013	0.038	0.145	0.144	0.256	0.318
5	0.006	0.027	0.085	0.108	0.164	0.218
6	0.006	0.029	0.092	0.115	0.174	0.258
7	0.001	0.026	0.084	0.031	0.128	0.188
8	0.008	0.031	0.162	0.215	0.266	0.312
9	0.012	0.036	0.167	0.218	0.294	0.370
10	0.011	0.034	0.138	0.179	0.250	0.330
11	0.012	0.031	0.135	0.178	0.226	0.240
12	0.010	0.027	0.115	0.153	0.202	0.258
13	0.010	0.036	0.129	0.169	0.238	0.323
14	0.008	0.036	0.144	0.157	0.200	0.327
15	0.010	0.030	0.162	0.229	0.228	0.328
16	0.006	0.032	0.112	0.147	0.183	0.244
17	0.006	0.029	0.079	0.101	0.168	0.264
18	0.006	0.025	0.065	0.082	0.143	0.206
19	0.011	0.034	0.146	0.201	0.262	0.325
20	0.012	0.032	0.144	0.199	0.263	0.352
21	0.006	0.031	0.050	0.058	0.070	0.128
22	0.004	0.016	0.046	0.057	0.077	0.173

● 40000 Lastwechsel

TABELLE 1.2

BALKEN K1 , DURCHBIEGUNGEN
MESSUNG MIT MESSUHRN 1/100 MM

LASTSTUFE	2.1	2.2	2.3	2.4 ●	2.6	2.7	2.8 ■	2.10	2.11	2.12 ▲	2.14	2.15
GESAMTLAST (KN)	62.0	116.0	170.0	0.0	0.0	62.0	170.0	0.0	62.0	170.0	0.0	62.0
MESSUHRN-NR	DURCHBIEGUNG (MM)											
1	1.09	1.92	3.88	0.47	1.04	2.36	5.02	1.06	2.38	5.23	1.08	2.37
2	0.02	0.04	0.12	0.01	0.01	0.02	0.13	0.03	0.03	0.12	0.03	0.04
3	1.09	2.23	4.57	0.49	0.97	2.33	5.61	0.98	2.27	5.75	1.00	2.26

LASTSTUFE	2.16	2.17	2.18	2.19 □	3.1	3.2	3.3	3.4 ○	3.6	3.7	3.8 △	3.10
GESAMTLAST	170.0	205.0	240.0	275.0	62.0	116.0	170.0	0.0	0.0	62.0	170.0	0.0
MESSUHRN-NR	DURCHBIEGUNG (MM)											
1	5.31	6.48	8.37	10.37	0.82	1.76	3.97	0.08	0.11	0.93	3.03	0.07
2	0.14	0.21	0.38	0.55	0.24	0.29	0.26	0.01	0.06	0.34	0.38	0.08
3	5.81	7.08	8.82	10.80	1.68	2.97	4.71	0.11	0.41	2.12	5.03	0.45

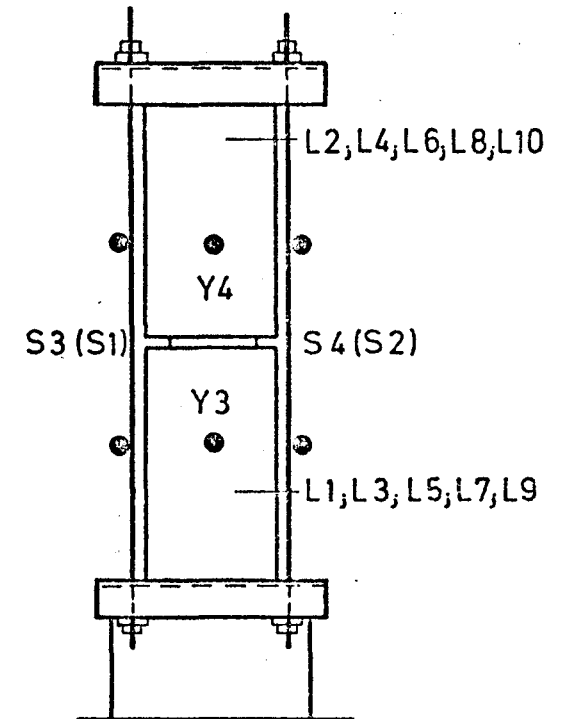
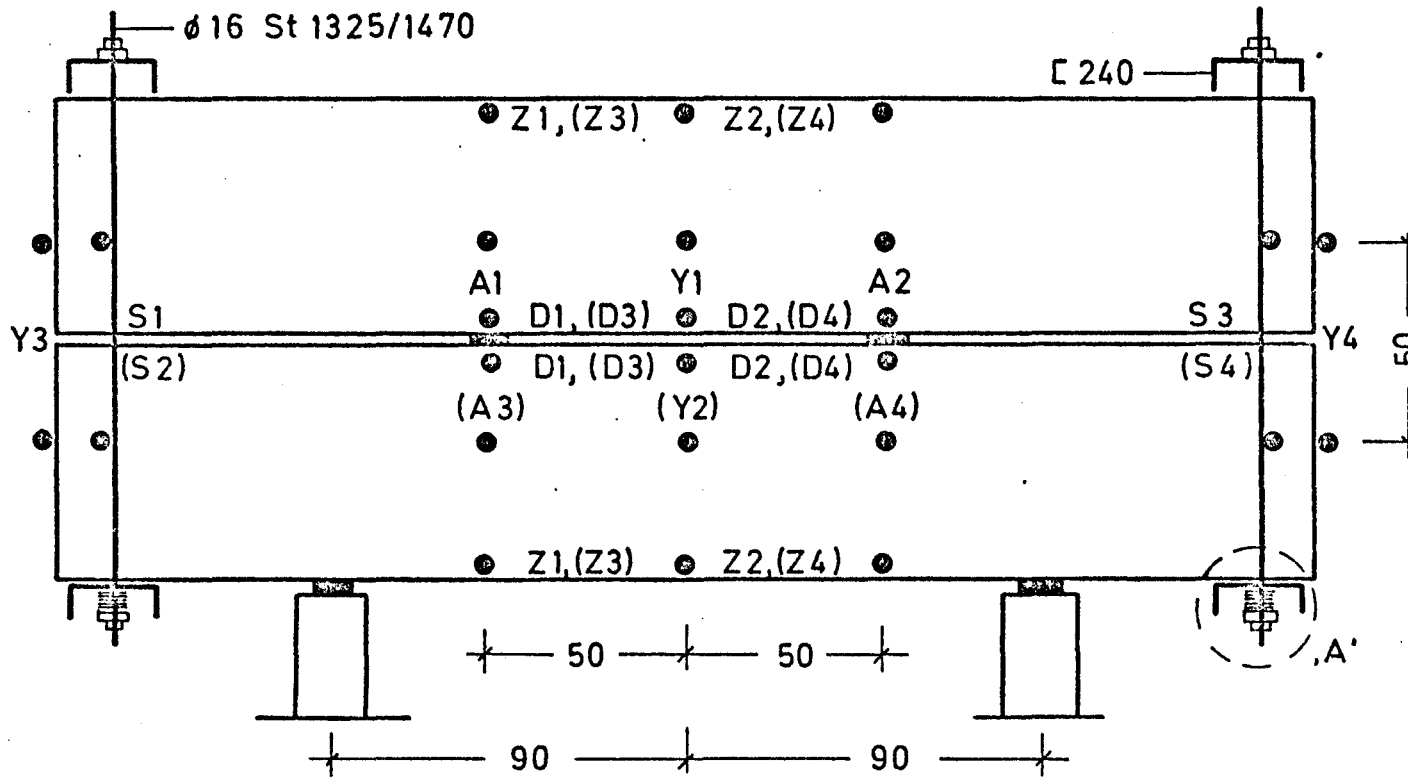
LASTSTUFE	3.11	3.12	3.13	3.14	3.15
GESAMTLAST (KN)	62.0	170.0	205.0	240.0	275.0
MESSUHRN-NR	DURCHBIEGUNG (MM)				
1	0.90	2.99	3.78	4.87	6.60
2	0.35	0.42	0.38	0.28	0.15
3	2.17	5.11	6.16	7.52	9.12

- 10000 Lastwechsel
- 40000 Lastwechsel
- ▲ 50000 Lastwechsel
- verpreßt
- 10000 Lastwechsel
- △ 40000 Lastwechsel

A N L A G E 2 :

VERSUCHSBALKEN L1 bis L10 ;
LÄNGENÄNDERUNG UNTER DAUERLAST
BEI LAGERUNG IM FREIEN

Meßstellen in () liegen auf der gegenüberliegenden Seite



MEßSTELLENANORDNUNG, VERSUCHSBALKEN L1 BIS L10

TABELLE 2.1a

BALKEN L1-L2 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]											
A1	0.014	0.000	-0.039	-0.022	-0.006	0.031	0.008	0.069	0.041	0.043	0.061	0.114
A2	0.039	0.031	-0.006	0.012	0.035	0.065	0.043	0.108	0.088	0.100	0.116	0.161
A3	-0.073	-0.159	-0.108	-0.200	-0.192	-0.198	-0.175	-0.145	-0.169	-0.151	-0.163	-0.133
A4	-0.041	0.071	-0.129	-0.135	-0.110	0.090	-0.098	-0.063	-0.082	-0.076	-0.057	-0.029
S1	-0.031	-0.039	-0.084	-0.063	-0.043	-0.014	-0.041	0.086	0.018	0.018	0.067	0.122
S2	-0.004	-0.018	-0.055	-0.031	-0.022	0.010	-0.016	0.100	0.061	0.059	0.082	0.135
S3	-0.039	-0.043	-0.086	-0.069	-0.059	-0.020	-0.039	0.024	-0.004	0.082	0.049	0.112
S4	-0.043	-0.046	-0.092	-0.086	-0.059	-0.031	-0.055	0.025	-0.004	-0.004	0.018	0.062
Y1	0.020	0.039	0.006	0.025	0.049	-0.082	-0.067	0.143	0.120	0.139	0.175	0.257
Y2	-0.027	-0.065	-0.102	-0.082	-0.076	-0.041	-0.047	0.012	-0.006	0.004	0.037	0.100
Y3												
Y4	0.110	-0.110	-0.196	-0.226	-0.259	-0.265	-0.304	-0.410	-0.424	-0.437	-0.626	-0.808

TABELLE 2.1b

BALKEN L1-L2 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)								
A1	0.094	0.065	0.018	0.022	0.004	-0.029	0.016	0.031	0.220
A2	0.139	0.110	0.061	0.067	0.053	0.016	0.061	0.067	0.229
A3	-0.147	-0.178	-0.206	-0.204	-0.210	-0.043	-0.210	-0.200	0.010
A4	-0.059	-0.084	-0.114	-0.114	-0.118	-0.137	-0.118	-0.098	0.012
S1	0.102	0.088	0.006	0.033	-0.031	-0.059	-0.018	0.000	
S2	0.106	0.063	0.035	0.067	0.006	-0.014	0.019	0.035	
S3	0.102	0.022	0.006	0.020	-0.041	-0.067	-0.022	-0.012	
S4	0.045	-0.002	-0.022	-0.024	-0.051	-0.076	-0.043	-0.025	
Y1	0.255	0.218	0.180	0.180	0.157	0.127	0.178	0.204	0.255
Y2	0.094	0.049	0.020	0.016	0.010	-0.029	0.020	0.053	0.067
Y3									
Y4	-0.940	-0.916	-0.945	-0.947	-0.906	-0.987	-0.985	-1.098	0.124

TABELLE 2.2a

BALKEN L3-L4 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]											
A1	0.062	-0.029	-0.071	-0.051	-0.051	-0.018	-0.041	0.006	-0.022	-0.014	-0.018	0.014
A2	0.008	-0.012	-0.055	-0.039	-0.039	-0.006	-0.022	0.022	0.004	0.020	0.006	0.055
A3	-0.108	-0.175	-0.231	-0.216	-0.210	-0.171	-0.192	-0.155	-0.194	-0.194	-0.220	-0.190
A4	-0.008	-0.084	-0.129	-0.127	-0.118	-0.082	-0.102	-0.065	-0.096	-0.102	-0.120	-0.094
S1	-0.039	-0.043	-0.084	-0.065	-0.051	-0.016	-0.045	0.071	-0.008	0.002	0.033	0.094
S2	-0.043	-0.043	-0.890	-0.067	-0.053	0.000	-0.039	0.078	0.018	0.031	0.047	0.175
S3	-0.050	-0.051	-0.092	-0.069	-0.049	-0.016	-0.037	0.073	-0.004	0.012	0.041	0.092
S4	-0.050	-0.051	-0.092	-0.069	-0.053	-0.027	-0.047	0.041	-0.012	0.002	0.010	0.002
Y1	-0.006	0.002	-0.027	-0.006	0.002	0.047	0.029	0.094	0.069	0.088	0.122	0.220
Y2	-0.014	-0.059	-0.098	-0.076	-0.067	-0.022	-0.035	0.033	0.004	0.006	0.033	0.108
Y3	0.065	-0.231	-0.367	-0.373	-0.418	-0.430	-0.475	-0.643	-0.702	-0.714	-0.863	-1.267
Y4	-0.135	-0.371	-0.506	-0.557	-0.604	-0.600	-0.651	-0.814	-0.814	-0.806	-1.122	-1.392

TABELLE 2.2b

BALKEN L3-L4 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]								
A1	-0.016	-0.039	-0.110	-0.102	-0.106	-0.171	-0.090	-0.094	0.018
A2	0.014	-0.004	-0.078	-0.065	-0.069	-0.143	-0.069	-0.055	0.033
A3	-0.239	-0.257	-0.300	-0.302	-0.296	-0.328	-0.290	-0.294	-0.245
A4	-0.135	-0.153	-0.188	-0.198	-0.190	-0.218	-0.194	-0.188	-0.122
S1	0.073	0.055	-0.012	-0.012	-0.061	-0.127	-0.053	-0.049	
S2	0.063	0.025	-0.002	0.010	-0.037	-0.057	-0.025	-0.014	
S3	0.082	0.045	0.006	-0.002	-0.045	-0.100	-0.018	-0.022	
S4	0.035	-0.008	-0.033	-0.035	-0.061	-0.080	-0.029	-0.037	
Y1	0.218	0.186	0.110	0.122	0.104	0.043	0.120	0.151	0.080
Y2	0.116	0.071	0.045	0.037	0.025	0.004	0.047	0.088	-0.035
Y3	-1.402	-1.345	-1.298	-1.208	-1.406	-1.472	-1.521	-1.585	-0.500
Y4	-1.508	-1.387	-1.393	-1.366	-1.610	-1.648	-1.681	-1.729	-0.459

TABELLE 2.3a

BALKEN L5-L6 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]											
A1	-0.008	-0.031	-0.071	-0.059	-0.057	-0.025	-0.055	-0.006	-0.029	-0.045	-0.053	-0.016
A2	0.008	-0.012	-0.061	-0.069	-0.063	-0.037	-0.061	-0.016	-0.029	-0.041	-0.043	-0.008
A3	0.004	-0.027	-0.063	-0.055	-0.039	-0.016	-0.035	0.006	-0.006	-0.018	-0.029	0.006
A4	0.014	-0.010	-0.053	-0.049	-0.033	-0.004	-0.027	0.014	0.008	0.006	0.002	0.022
S1	-0.051	-0.010	-0.043	-0.051	-0.016	0.012	-0.008	0.100	0.065	0.063	0.108	0.139
S2	-0.022	-0.018	-0.059	-0.049	-0.027	-0.002	-0.027	0.092	0.069	0.045	0.069	0.145
S3	-0.025	-0.033	-0.069	-0.055	-0.031	-0.006	-0.027	0.063	0.039	0.033	0.067	0.118
S4	-0.016	-0.016	-0.061	-0.055	-0.025	-0.002	-0.020	0.082	0.037	0.033	0.057	0.114
Y1	-0.010	-0.008	-0.025	-0.016	0.008	0.049	0.029	0.116	0.116	0.114	0.188	0.300
Y2	-0.006	0.002	-0.027	0.002	0.025	0.063	0.055	0.149	0.155	0.157	0.222	0.320
Y3	0.006	-0.261	-0.359	-0.451	-0.516	-0.537	-0.624	-0.875	-0.928	-1.038	-1.483	-1.865
Y4	0.061	-0.206	-0.324	-0.422	-0.467	-0.496	-0.575	-0.783	-0.797	-0.857	-1.281	-1.628

TABELLE 2.3b

BALKEN L5-L6 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]								
A1	-0.067	-0.104	-0.175	-0.171	-0.169	-0.198	-0.167	-0.151	-0.067
A2	-0.059	-0.076	-0.143	-0.139	-0.137	-0.165	-0.134	-0.127	-0.055
A3	-0.031	-0.055	-0.100	-0.102	-0.102	-0.127	-0.090	-0.088	-0.020
A4	-0.006	-0.022	-0.088	-0.069	-0.071	-0.094	-0.065	-0.061	0.004
S1	0.124	0.112	0.035	0.016	-0.010	-0.027	0.004	0.027	
S2	0.094	0.055	0.018	0.012	-0.020	0.035	0.000	0.014	
S3	0.100	0.080	-0.029	0.000	-0.039	-0.053	-0.022	-0.008	
S4	0.069	0.035	0.035	-0.008	-0.039	-0.055	-0.014	-0.006	
Y1	0.302	0.247	0.184	0.192	0.180	0.151	0.194	0.226	0.127
Y2	0.343	0.304	0.261	0.265	0.245	0.222	0.267	0.290	0.192
Y3	-1.993	-2.095	-2.177	-2.193	-2.067	-2.134	-2.187	-2.346	-1.138
Y4	-1.969	-1.852	-1.946	-1.954	-1.822	-1.873	-2.058	-2.109	-0.761

TABELLE 2.4a

BALKEN L7-L8 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]											
A1	0.010	-0.004	-0.047	-0.047	-0.031	0.004	-0.016	0.027	0.010	0.000	0.014	0.031
A2	0.004	-0.010	-0.063	-0.061	-0.043	-0.016	-0.037	0.000	-0.016	-0.025	-0.027	-0.008
A3	0.012	-0.008	-0.055	-0.055	-0.033	-0.002	-0.025	0.031	0.016	0.010	0.012	0.043
A4	-0.020	-0.041	-0.098	-0.098	-0.104	-0.061	-0.084	-0.035	-0.039	-0.063	-0.057	-0.027
S1	-0.041	-0.035	-0.816	-0.067	-0.043	-0.020	-0.041	0.714	0.012	0.016	0.055	0.094
S2	-0.047	-0.047	-0.094	-0.078	-0.063	-0.037	-0.055	-0.057	-0.008	-0.012	0.008	0.071
S3	-0.075	-0.045	-0.090	-0.071	-0.051	-0.033	-0.041	0.041	-0.004	-0.010	0.035	0.076
S4	-0.049	-0.053	-0.098	-0.078	-0.051	-0.029	-0.053	0.061	-0.016	-0.010	0.000	0.073
Y1	-0.018	0.212	-0.035	-0.018	0.010	0.043	0.029	0.104	0.094	0.088	0.145	0.208
Y2	-0.006	0.014	-0.020	-0.004	0.022	-0.004	0.051	0.129	0.127	0.116	0.163	0.245
Y3	0.131	-0.159										
Y4	0.196	-0.127										

TABELLE 2.4b

BALKEN L7-L8 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]								
A1	-0.004	-0.041	-0.098	-0.090	-0.098	-0.131	-0.092	-0.084	-0.031
A2	-0.055	-0.092	-0.143	-0.133	-0.141	-0.167	-0.137	-0.133	-0.078
A3	0.006	-0.029	-0.065	-0.065	-0.071	-0.094	-0.051	-0.055	-0.035
A4	-0.055	-0.100	-0.133	-0.139	-0.129	-0.161	-0.127	-0.129	-0.045
S1	0.073	0.029	0.006	-0.012	-0.047	-0.071	-0.033	-0.016	
S2	0.055	-0.006	-0.031	-0.039	-0.073	-0.092	-0.057	-0.047	
S3	0.039	-0.006	-0.031	-0.039	-0.073	-0.092	-0.057	-0.047	
S4	0.053	-0.018	-0.045	-0.043	-0.076	-0.098	-0.076	-0.045	
Y1	0.200	0.145	0.084	0.096	0.078	0.049	0.094	0.120	-0.051
Y2	0.255	0.194	0.153	0.153	0.137	0.116	0.157	0.186	0.053
Y3									
Y4									

TABELLE 2.5a

BALKEN L9-L10, LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST $F = 75 \text{ KN}$
 MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER $L = 50 \text{ CM}$

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]											
A1	0.006	-0.022	-0.078	-0.065	-0.051	-0.027	-0.059	0.014	-0.016	-0.022	-0.025	0.004
A2	0.008	-0.020	-0.071	-0.059	-0.051	-0.022	-0.055	0.010	-0.012	-0.049	-0.027	0.006
A3	-0.002	-0.002	-0.051	-0.039	-0.012	0.025	-0.012	0.053	0.029	0.016	0.022	0.041
A4	-0.004	0.002	-0.047	-0.029	-0.020	0.016	-0.004	0.047	0.031	0.022	0.020	0.043
S1	-0.041	-0.041	-0.071	-0.078	-0.051	-0.026	-0.049	0.084	0.020	0.020	0.027	0.078
S2	-0.033	-0.008	-0.141	-0.129	-0.108	-0.078	-0.106	0.027	-0.006	-0.012	-0.012	0.067
S3	-0.035	-0.031	-0.071	-0.065	-0.039	-0.020	-0.043	0.059	0.022	0.027	0.049	0.092
S4	-0.047	-0.037	-0.071	-0.067	-0.047	-0.016	-0.046	0.080	0.014	0.022	0.029	0.098
Y1	-0.002	0.006	-0.053	-0.043	-0.020	-0.020	-0.004	0.080	0.059	0.080	0.157	0.251
Y2	-0.029	0.004	-0.053	-0.039	0.000	0.035	0.018	0.098	0.089	0.100	0.186	0.267
Y3	0.059	-0.084	-0.226	-0.282	-0.326	-0.345	-0.382	-0.481	-0.563	-0.773	-1.210	-1.710
Y4	0.049	-0.120	-0.273	-0.337	-0.366	-0.400	-0.457	-0.592	-0.630	-0.751	-1.167	-1.654

TABELLE 2.5b

BALKEN L9-L10, LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST $F = 75 \text{ KN}$
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER $L = 50 \text{ CM}$

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]								
A1	-0.031	-0.073	-0.143	-0.143	-0.141	-0.163	-0.122	-0.112	-0.006
A2	-0.031	-0.069	-0.131	-0.133	-0.124	-0.149	-0.108	-0.098	-0.002
A3	0.006	-0.025	-0.063	-0.059	-0.065	-0.092	-0.055	-0.059	-0.012
A4	0.020	-0.016	-0.059	-0.051	-0.059	-0.084	-0.045	-0.057	-0.004
S1	0.069	0.041	-0.020	-0.039	-0.071	-0.092	-0.069	-0.047	
S2	0.055	-0.020	-0.041	-0.047	-0.086	-0.104	-0.057	-0.061	
S3	0.067	0.069	0.012	-0.014	-0.049	-0.067	-0.037	-0.027	
S4	0.078	0.008	-0.022	-0.018	-0.053	-0.076	-0.035	-0.027	
Y1	0.267	0.222	0.161	0.159	0.161	0.139	0.184	0.212	0.188
Y2	0.286	0.239	0.214	0.218	0.206	0.188	0.229	0.239	0.163
Y3	-2.069	-1.995	-2.130	-2.179	-2.071	-2.122	-2.142	-2.091	1.369
Y4	-1.926	-1.977	-2.122	-2.160	-2.042	-2.081	-2.085	-2.456	-1.324

TABELLE 2.6

BALKEN L1 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
 MESSUNG MIT SETZOEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)											
D1	0.004	-0.004	-0.033	-0.008	0.002	0.027	0.006	0.057	0.043	0.037	0.045	0.069
D2	0.002	0.006	-0.037	-0.018	-0.004	0.018	0.000	0.045	0.043	0.035	0.049	0.073
D3	0.008	-0.002	-0.037	-0.014	0.008	0.022	0.006	0.047	0.045	0.037	0.045	0.074
D4	0.000	-0.010	-0.049	-0.029	-0.031	0.000	-0.025	0.020	0.025	0.008	0.027	0.053
Z1	-0.002	0.029	-0.008	0.004	0.035	0.067	0.049	0.114	0.104	0.106	0.143	0.194
Z2	0.000	0.031	-0.043	0.033	0.059	0.094	0.078	0.133	0.137	0.133	0.175	0.229
Z3	-0.002	0.033	-0.006	0.025	0.049	0.082	0.065	0.131	0.133	0.135	0.173	0.229
Z4	0.006	0.029	-0.012	0.012	0.037	0.067	0.053	0.118	0.112	0.118	0.151	0.206

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)								
D1	0.067	0.037	-0.012	-0.002	-0.010	-0.057	-0.016	-0.004	0.045
D2	0.071	0.037	-0.012	-0.002	-0.002	-0.057	-0.014	-0.002	0.045
D3	0.057	0.025	-0.014	-0.006	-0.012	-0.069	-0.031	-0.008	0.027
D4	0.037	0.010	-0.041	-0.029	-0.043	-0.080	-0.041	-0.018	0.022
Z1	0.202	0.165	0.118	0.133	0.116	0.084	0.124	0.141	0.071
Z2	0.220	0.190	0.139	0.115	0.143	0.106	0.149	0.161	0.086
Z3	0.235	0.202	0.159	0.171	0.157	0.131	0.173	0.194	0.104
Z4	0.224	0.165	0.120	0.129	0.112	0.080	0.124	0.155	0.053

TABELLE 2.7

BALKEN L2 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)											
D1	0.000	0.008	-0.029	0.020	0.027	0.049	0.035	0.084	0.080	0.065	0.080	0.120
D2	0.006	0.006	-0.029	0.010	0.020	0.041	0.025	0.080	0.069	0.067	0.090	0.116
D3	0.004	-0.002	-0.037	-0.006	0.020	0.037	0.020	0.063	0.065	0.061	0.080	0.090
D4	0.000	0.004	-0.041	0.008	0.014	0.033	0.018	0.065	0.071	0.063	0.075	0.098
Z1	0.000	0.035	0.010	0.039	0.053	0.092	0.076	0.147	0.139	0.137	0.198	0.255
Z2	-0.004	0.027	0.002	0.035	0.047	0.088	0.071	0.153	0.139	0.139	0.200	0.271
Z3	-0.004	0.022	-0.004	0.022	0.029	0.063	0.043	0.112	0.106	0.106	0.151	0.216
Z4	-0.002	0.029	0.010	0.027	0.039	0.080	0.059	0.133	0.122	0.124	0.171	0.235

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)								
D1	0.108	0.088	0.037	0.037	0.022	-0.008	0.031	0.041	0.086
D2	0.108	0.080	0.018	0.022	0.012	-0.029	0.016	0.025	0.071
D3	0.082	0.045	0.012	0.020	0.022	-0.016	0.010	0.025	0.065
D4	0.096	0.065	0.027	0.033	0.022	-0.012	0.016	0.035	0.071
Z1	0.275	0.233	0.173	0.175	0.153	0.120	0.169	0.202	0.116
Z2	0.290	0.245	0.175	0.178	0.153	0.129	0.173	0.202	0.127
Z3	0.231	0.178	0.141	0.149	0.155	0.098	0.145	0.175	0.082
Z4	0.255	0.190	0.157	0.165	0.145	0.114	0.157	0.188	0.104

TABELLE 2.8

BALKEN L3 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]											
D1	0.004	-0.006	-0.045	-0.033	-0.022	0.004	-0.016	0.027	0.004	0.010	0.000	-0.096
D2	0.004	-0.006	-0.051	-0.018	-0.020	0.008	-0.004	0.037	0.014	0.022	0.014	-0.008
D3	0.008	0.000	-0.043	-0.020	-0.012	0.010	-0.008	0.043	0.025	0.025	0.025	-0.086
D4	-0.002	-0.008	-0.057	-0.043	-0.031	-0.002	-0.027	0.029	0.006	0.008	0.008	0.065
Z1	-0.006	0.020	-0.014	-0.010	0.012	0.041	0.020	0.084	0.055	0.104	0.086	0.284
Z2	-0.008	0.016	-0.006	0.018	0.018	0.071	0.053	0.106	0.090	0.104	0.120	0.102
Z3	-0.006	0.025	-0.016	0.018	0.035	0.063	0.049	0.108	0.088	0.092	0.120	0.151
Z4	-0.002	0.035	-0.008	0.008	0.039	0.065	0.059	0.118	0.110	0.106	0.143	0.259

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]								
D1	0.006	-0.031	-0.092	-0.088	-0.086	-0.167	-0.086	-0.084	-0.027
D2	0.025	-0.008	-0.082	-0.069	-0.067	-0.159	-0.069	-0.076	-0.014
D3	0.008	0.004	-0.053	-0.051	-0.047	-0.077	-0.055	-0.043	0.022
D4	0.006	-0.008	-0.071	-0.063	-0.061	-0.116	-0.067	-0.057	0.008
Z1	0.165	0.120	0.061	0.078	0.065	-0.004	0.094	0.094	-0.102
Z2	0.202	0.165	0.102	0.118	0.094	0.035	0.127	0.129	-0.029
Z3	0.178	0.157	0.096	0.110	0.098	0.080	0.120	0.133	0.033
Z4	0.208	0.187	0.135	0.139	0.129	0.108	0.143	0.153	0.025

TABELLE 2.9

BALKEN L4 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]											
D1	0.002	0.002	-0.037	-0.022	-0.006	0.022	-0.002	0.045	0.027	0.039	0.033	0.194
D2	-0.004	-0.004	-0.043	-0.027	-0.004	0.018	-0.002	0.051	0.035	0.043	0.037	0.135
D3	-0.002	0.000	-0.041	-0.016	-0.010	0.025	0.010	0.049	0.037	0.037	0.025	-0.188
D4	0.000	0.000	-0.043	-0.033	-0.016	0.012	-0.002	0.029	0.018	0.022	0.012	0.006
Z1	-0.010	0.016	-0.004	0.004	0.031	0.065	0.051	0.131	0.108	0.118	0.171	0.129
Z2	0.000	0.035	0.006	0.031	0.055	0.094	0.076	0.161	0.141	0.145	0.206	0.184
Z3	-0.010	0.016	-0.008	0.012	0.037	0.073	0.059	0.135	0.120	0.122	0.178	-0.122
Z4	-0.012	0.016	-0.012	0.008	0.039	0.076	0.059	0.135	0.120	0.124	0.180	0.196

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]								
D1	0.016	0.002	-0.094	-0.084	-0.080	-0.149	-0.080	-0.067	-0.018
D2	0.025	0.006	-0.078	-0.071	-0.063	-0.139	-0.065	-0.065	0.006
D3	0.018	-0.016	-0.078	-0.061	-0.057	-0.086	-0.059	-0.055	-0.006
D4	0.014	-0.006	-0.057	-0.057	-0.049	-0.076	-0.055	-0.047	0.012
Z1	0.280	0.243	0.169	0.173	0.157	0.100	0.180	0.208	0.131
Z2	0.300	0.247	0.169	0.173	0.051	0.092	0.178	0.210	0.108
Z3	0.300	0.239	0.194	0.202	0.186	0.165	0.206	0.239	0.153
Z4	0.282	0.218	0.175	0.180	0.159	0.141	0.182	0.216	0.122

TABELLE 2.10

BALKEN L5 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)											
D1	0.004	0.008	-0.037	-0.016	-0.008	0.016	0.000	0.043	0.031	0.033	0.014	0.041
D2	0.008	0.008	-0.033	-0.004	0.010	0.035	0.018	0.065	0.049	0.053	0.037	0.069
D3	0.002	-0.006	-0.047	-0.014	-0.041	0.025	0.004	0.047	0.025	0.027	0.016	0.033
D4	0.000	-0.010	-0.053	-0.045	-0.031	0.000	-0.022	0.031	0.018	0.008	0.014	0.016
Z1	0.000	0.037	-0.002	0.043	0.063	0.082	0.078	0.161	0.171	0.165	0.214	0.302
Z2	0.002	0.037	0.006	0.047	0.071	0.108	0.100	0.161	0.153	0.153	0.175	0.261
Z3	0.004	0.037	0.008	0.025	0.057	0.098	0.106	0.186	0.196	0.194	0.255	0.335
Z4	0.000	0.033	-0.002	0.016	0.037	0.067	0.065	0.122	0.098	0.112	0.150	0.206

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)								
D1	0.004	-0.022	-0.092	-0.084	-0.071	-0.118	-0.082	-0.080	-0.022
D2	0.029	-0.004	-0.082	-0.076	-0.063	-0.110	-0.080	-0.073	-0.002
D3	0.008	-0.018	-0.076	-0.071	-0.065	-0.098	-0.061	-0.065	-0.006
D4	-0.016	-0.022	-0.092	-0.086	-0.086	-0.120	-0.082	-0.088	-0.029
Z1	0.308	0.259	0.214	0.210	0.208	0.171	0.216	0.229	0.100
Z2	0.259	0.212	0.153	0.167	0.178	0.133	0.167	0.190	0.078
Z3	0.343	0.314	0.259	0.265	0.257	0.234	0.284	0.288	0.118
Z4	0.218	0.298	0.115	0.149	0.133	0.116	0.161	0.159	0.045

TABELLE 2.11

BALKEN L6 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]											
D1	-0.002	-0.002	-0.049	-0.033	-0.018	0.012	-0.102	0.033	0.014	0.012	0.002	0.010
D2	0.002	0.006	-0.039	-0.025	-0.010	0.018	-0.006	0.041	0.025	0.016	0.008	0.025
D3	-0.006	0.000	-0.039	-0.008	0.006	0.035	0.016	0.055	0.041	0.039	0.022	0.041
D4	0.008	0.004	-0.039	-0.025	-0.012	0.012	-0.006	0.035	0.022	0.006	0.000	0.018
Z1	0.002	0.037	0.010	0.025	0.053	0.088	0.078	0.171	0.155	0.163	0.243	0.314
Z2	-0.002	0.035	0.012	0.031	0.055	0.096	0.080	0.178	0.165	0.171	0.261	0.335
Z3	-0.002	0.039	0.014	0.025	0.053	0.094	0.082	0.163	0.159	0.165	0.239	0.331
Z4	-0.002	0.035	0.018	0.027	0.053	0.092	0.082	0.165	0.161	0.169	0.255	0.343

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]								
D1	-0.031	-0.067	-0.137	-0.135	-0.127	-0.145	-0.114	-0.114	-0.069
D2	-0.025	-0.065	-0.133	-0.127	-0.110	-0.135	-0.108	-0.108	-0.065
D3	-0.002	-0.033	-0.086	-0.080	-0.073	-0.088	-0.063	-0.061	-0.025
D4	-0.016	-0.045	-0.098	-0.090	-0.096	-0.114	-0.090	-0.090	-0.033
Z1	0.328	0.284	0.210	0.214	0.198	0.178	0.220	0.249	0.147
Z2	0.555	0.290	0.214	0.216	0.206	0.180	0.231	0.259	0.167
Z3	0.349	0.296	0.249	0.253	0.235	0.218	0.263	0.269	0.194
Z4	0.363	0.316	0.267	0.273	0.255	0.237	0.282	0.310	0.218

TABELLE 2.12

BALKEN L7 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]											
D1	0.012	0.002	-0.037	-0.025	-0.006	0.020	0.002	0.063	0.045	0.053	0.043	0.065
D2	0.014	0.006	-0.037	-0.012	-0.002	0.022	0.010	0.053	0.035	0.039	0.037	0.053
D3	0.016	0.006	-0.037	-0.022	-0.002	0.029	0.012	0.059	0.041	0.041	0.045	0.069
D4	0.016	-0.002	-0.045	-0.027	-0.012	0.022	0.002	0.047	0.025	0.031	0.018	0.027
Z1	-0.014	0.012	-0.018	-0.002	0.035	0.063	0.055	0.118	0.118	0.110	0.145	0.202
Z2	0.006	-0.002	-0.029	-0.004	0.039	0.047	0.049	0.114	0.108	0.096	0.122	0.165
Z3	-0.016	0.033	-0.004	0.025	0.049	0.080	0.073	0.135	0.129	0.129	0.149	0.190
Z4	-0.022	0.002	-0.037	-0.012	0.008	0.033	0.025	0.082	0.078	0.069	0.104	0.149

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.006	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]								
D1	0.039	0.002	-0.051	-0.049	-0.045	-0.088	-0.043	-0.047	0.010
D2	0.027	0.008	-0.051	-0.051	-0.049	-0.090	-0.053	-0.049	0.014
D3	0.037	0.006	-0.041	-0.043	-0.039	-0.080	-0.037	-0.035	-0.039
D4	-0.002	-0.033	-0.076	-0.080	-0.076	-0.114	-0.082	-0.073	0.000
Z1	0.218	0.167	0.112	0.124	0.114	0.084	0.118	0.141	-0.010
Z2	0.165	0.124	0.071	0.084	0.067	0.039	0.078	0.088	-0.096
Z3	0.182	0.157	0.092	0.094	0.094	0.057	0.104	0.114	0.139
Z4	0.145	0.080	0.057	0.059	0.045	0.018	0.055	0.069	-0.165

TABELLE 2.13

BALKEN L8 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)											
D1	0.008	-0.002	-0.039	-0.018	-0.010	0.027	0.002	0.047	0.037	0.031	0.033	0.047
D2	0.004	0.010	-0.031	0.004	0.016	0.035	0.010	0.059	0.051	0.045	0.047	0.055
D3	0.002	0.002	-0.043	-0.014	-0.002	0.012	0.010	0.039	0.035	0.029	0.027	0.041
D4	0.002	-0.004	-0.049	-0.033	-0.025	0.010	-0.006	0.031	0.022	0.014	0.002	0.016
Z1	-0.010	0.029	0.014	0.037	0.057	0.096	0.088	0.188	0.175	0.178	0.261	0.316
Z2	-0.006	0.043	0.018	0.041	0.067	0.104	0.088	0.182	0.167	0.167	0.239	0.284
Z3	-0.014	0.035	0.012	0.031	0.055	0.098	0.088	0.184	0.175	0.178	0.251	0.328
Z4	-0.010	0.029	0.010	0.018	0.045	0.080	0.065	0.145	0.135	0.139	0.188	0.253

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)								
D1	0.027	-0.006	-0.073	-0.061	-0.065	-0.094	-0.061	-0.051	0.022
D2	0.018	0.006	-0.063	-0.063	-0.031	-0.088	-0.031	-0.057	0.014
D3	-0.004	-0.031	-0.069	-0.061	-0.059	-0.096	-0.063	-0.047	0.014
D4	-0.012	-0.057	-0.100	-0.092	-0.092	-0.122	-0.086	-0.073	-0.025
Z1	0.343	0.277	0.214	0.198	0.194	0.163	0.212	0.249	0.082
Z2	0.110	0.259	0.182	0.182	0.188	0.155	0.200	0.229	0.100
Z3	0.357	0.275	0.226	0.229	0.204	0.173	0.224	0.267	0.084
Z4	0.267	0.186	0.169	0.173	0.153	0.129	0.167	0.198	0.073

TABELLE 2.14

BALKEN L9 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]											
D1	0.004	0.008	-0.039	-0.010	0.008	0.033	0.012	0.084	0.049	0.045	0.035	0.027
D2	-0.006	0.000	-0.045	-0.065	-0.004	0.020	0.006	0.067	0.043	0.039	0.020	0.020
D3	0.008	0.010	-0.039	-0.010	0.008	0.035	0.018	0.059	0.045	0.033	0.016	0.020
D4	0.004	0.004	-0.035	-0.033	-0.006	0.025	0.004	0.051	0.035	0.027	0.010	0.010
Z1	-0.004	0.016	-0.018	0.006	0.041	0.071	0.057	0.157	0.127	0.131	0.165	0.239
Z2	0.004	0.018	-0.016	0.016	0.045	0.071	0.061	0.124	0.116	0.124	0.188	0.253
Z3	-0.004	0.006	-0.025	0.016	0.039	0.067	0.057	0.118	0.116	0.100	0.118	0.163
Z4	-0.008	0.010	-0.029	0.000	0.037	0.063	0.047	0.102	0.112	0.106	0.229	0.324

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L [MM]								
D1	-0.008	-0.049	-0.124	-0.124	-0.131	-0.155	-0.116	-0.110	-0.076
D2	-0.010	-0.045	-0.116	-0.118	-0.108	-0.147	-0.106	-0.094	-0.065
D3	-0.012	-0.055	-0.096	-0.102	-0.086	-0.135	-0.098	-0.104	-0.059
D4	-0.022	-0.065	-0.112	-0.114	-0.102	-0.143	-0.108	-0.108	-0.071
Z1	0.267	0.239	0.163	0.167	0.169	0.149	0.173	0.204	0.091
Z2	0.251	0.222	0.157	0.163	0.167	0.143	0.180	0.188	0.108
Z3	0.163	0.131	0.094	0.104	0.112	0.073	0.114	0.118	0.053
Z4	0.359	0.310	0.269	0.275	0.277	0.251	0.290	0.310	0.198

TABELLE 2.15

BALKEN L10 , LAENGENAENDERUNG UNTER DAUERLAST F = 75 KN
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 50 CM

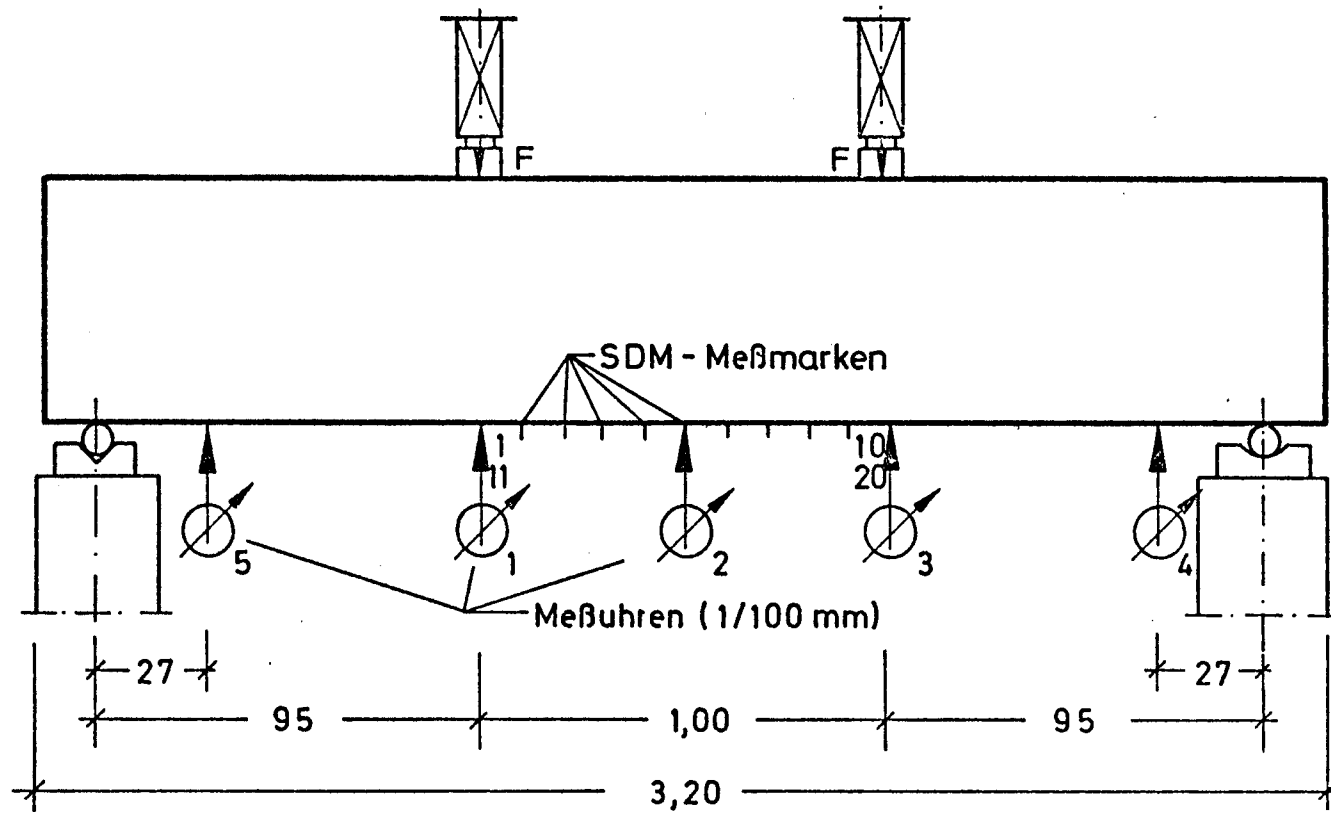
BELASTUNG VOM 3.12.76

ZEIT	3.12.	10.12.	17.12.	28.12.	10.1.	24.1.	9.2.	9.3.	18.3.	13.4.	13.5.	13.6.
LASTUNABH. MESSSTELLE			-0.033	-0.012	0.018	0.051	0.027	0.078	0.061	0.055	0.055	0.092
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)											
D1	-0.002	0.000	-0.043	-0.031	-0.006	0.018	-0.002	0.061	0.031	0.031	0.018	0.020
D2	0.000	-0.008	-0.051	-0.025	0.002	0.029	0.012	0.063	0.047	0.041	0.033	0.043
D3	0.004	0.006	-0.031	0.000	0.006	0.029	0.016	0.053	0.045	0.025	0.022	0.025
D4	0.002	0.000	-0.043	-0.047	0.004	0.037	0.008	0.051	0.037	0.031	0.027	0.031
Z1	-0.004	0.012	-0.010	0.004	0.037	0.080	0.061	0.145	0.129	0.190	0.288	0.380
Z2	0.002	0.035	0.014	0.031	0.063	0.102	0.088	0.175	0.155	0.171	0.222	0.286
Z3	-0.008	0.012	-0.010	-0.002	0.033	0.071	0.047	0.124	0.112	0.173	0.277	0.382
Z4	-0.004	0.027	0.006	0.012	0.059	0.094	0.080	0.151	0.141	0.153	0.204	0.267

ZEIT	11.7.	29.8.	3.10.	3.11.	14.12.	14.2.	14.3.	10.4.	11.4.
LASTUNABH. MESSSTELLE	0.051	0.016	-0.012	-0.016	-0.008	-0.045	-0.008	-0.004	
MESSTELLEN- BEZEICHNUNG	DELTA L (MM)								
D1	-0.027	-0.043	-0.110	-0.116	-0.106	-0.143	-0.114	-0.102	-0.059
D2	0.008	-0.016	-0.098	-0.098	-0.088	-0.120	-0.080	-0.078	-0.041
D3	-0.006	-0.035	-0.076	-0.080	-0.078	-0.104	-0.059	-0.078	-0.039
D4	-0.006	-0.039	-0.088	-0.088	-0.084	-0.108	-0.073	-0.071	-0.033
Z1	0.412	0.363	0.312	0.310	0.292	0.267	0.312	0.337	0.249
Z2	0.308	0.251	0.194	0.192	0.175	0.145	0.192	0.210	0.124
Z3	0.422	0.367	0.335	0.347	0.326	0.298	0.343	0.369	0.271
Z4	0.288	0.220	0.396	0.411	0.175	0.151	0.196	0.216	0.122

A N L A G E 3 :

VERSUCHSBALKEN L1 bis L10 ;
LÄNGENÄNDERUNG AM BIEGEZUGRAND
UND BALKENDURCHBIEGUNG VOR UND
NACH DER SCHWELLBEANSPRUCHUNG



MEßSTELLENANORDNUNG, VERSUCHSBALKEN L1 BIS L10

TABELLE 3.1a

BALKEN L1 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	90.0	110.0	130.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.002	0.005 ●	-0.002	0.000	0.007 ■	0.003	0.009	0.010	0.008	0.011	0.009	0.008
2	-0.002	0.005	-0.003	0.000	0.011	0.003	0.005	0.010	0.016	0.061	0.123	0.166
3	0.000	0.003	-0.004	-0.004	0.005	0.001	0.002	0.003	0.000	-0.003	-0.009	-0.014
4	0.008	0.037	0.000	-0.008	0.049	0.003	0.020	0.046	0.058	0.126	0.209	0.246
5	0.006	0.008	-0.006	-0.002	0.001	0.005	0.002	0.004	0.012	0.010	0.010	0.070
6	0.004	0.012	-0.002	-0.002	0.013	0.003	0.010	0.016	0.021	0.031	0.205	0.272
7	0.001	0.008	-0.004	0.001	0.010	0.005	0.006	0.012	0.014	0.024	0.007	0.003
8	0.001	0.011	-0.003	-0.002	0.011	0.003	0.007	0.017	0.017	0.025	0.087	0.147
9	0.005	0.019	0.003	0.005	0.029	0.004	0.012	0.033	0.039	0.127	0.170	0.247
10	0.016	0.024	0.018	0.026	0.017	0.019	0.018	0.020	0.018	0.000	-0.002	-0.021
11	0.004	0.017	0.007	0.013	0.041	0.010	0.021	0.034	0.050	0.069	0.186	0.286
12	-0.004	0.003	-0.007	-0.025	-0.009	-0.009	-0.002	-0.014	-0.008	-0.002	-0.023	-0.048
13	0.001	0.008	-0.001	0.006	0.012	0.005	0.006	0.009	0.016	0.009	0.019	0.029
14	-0.003	0.011	-0.006	-0.003	0.014	-0.004	0.003	0.013	0.021	0.127	0.235	0.277
15	0.001	0.007	-0.006	0.001	0.004	-0.005	0.000	0.008	0.009	0.013	0.091	0.105
16	-0.002	0.007	-0.004	0.002	0.009	0.001	0.005	0.010	0.012	0.018	0.093	0.202
17	0.000	0.014	-0.007	-0.002	0.013	-0.003	0.003	0.018	0.026	0.036	0.040	0.033
18	0.004	0.030	-0.005	0.002	0.031	0.009	0.015	0.036	0.047	0.118	0.182	0.187
19	-0.003	0.008	-0.005	0.003	0.008	-0.002	0.004	0.008	0.009	0.011	0.051	0.157
20	-0.003	0.004	-0.007	-0.003	0.005	0.001	0.002	0.002	0.011	0.008	0.011	0.000

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.1b

BALKEN L1 , LAENGFENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]			
1	0.006	0.006	0.005	-0.006
2	0.206	0.265	0.321	0.933
3	-0.014	-0.022	-0.025	0.047
4	0.298	0.340	0.763	1.551
5	0.126	0.168	0.106	0.051
6	0.336	0.396	0.849	2.123
7	-0.008	-0.001	-0.019	-0.067
8	0.229	0.282	0.180	0.126
9	0.339	0.435	1.018	2.342
10	-0.023	-0.022	0.031	0.301
11	0.327	0.372	0.511	1.313
12	-0.065	-0.068	-0.099	0.240
13	0.107	0.164	0.143	0.535
14	0.299	0.340	0.833	1.994
15	0.027	0.147	0.084	0.110
16	0.280	0.354	0.873	2.108
17	0.028	0.028	-0.018	-0.050
18	0.210	0.256	0.748	1.997
19	0.143	0.146	0.089	0.088
20	0.189	0.285	0.376	0.738

TABELLE 3.2a

BALKEN L2 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	90.0	110.0	130.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	-0.001	0.004 ●	-0.010	-0.005	-0.002 ■	-0.002	-0.005	0.003	0.004	0.014	0.002	0.009
2	0.005	0.003	-0.009	-0.002	-0.003	-0.004	-0.004	0.001	0.002	0.080	0.190	0.288
3	0.002	0.006	-0.008	-0.003	0.003	-0.003	0.000	0.004	0.009	-0.011	-0.040	-0.055
4	0.008	0.016	-0.006	0.003	0.013	-0.003	0.003	0.017	0.030	0.076	0.143	0.212
5	-0.003	0.003	-0.008	-0.003	0.001	-0.003	0.000	0.002	-0.001	-0.001	-0.011	-0.006
6	0.005	0.033	0.001	0.008	0.030	0.005	0.008	0.034	0.051	0.140	0.207	0.343
7	0.000	-0.002	-0.007	-0.007	-0.010	-0.006	-0.011	-0.009	0.006	-0.010	-0.020	-0.021
8	-0.001	0.001	-0.003	-0.001	-0.006	-0.001	-0.008	-0.005	-0.003	-0.003	-0.007	0.065
9	0.010	0.029	-0.002	0.007	0.028	-0.005	0.006	0.028	0.041	0.095	0.247	0.313
10	0.001	-0.003	-0.008	-0.005	-0.008	-0.003	-0.006	-0.006	-0.005	-0.003	-0.002	0.010
11	0.015	0.020	-0.001	0.010	0.009	0.012	0.016	0.015	0.021	0.020	0.018	0.014
12	-0.008	0.001	-0.018	-0.018	-0.016	-0.019	-0.012	-0.010	-0.003	-0.017	-0.031	-0.031
13	0.005	0.029	-0.001	0.007	0.033	0.004	0.013	0.040	0.059	0.144	0.213	0.286
14	-0.002	-0.001	-0.008	-0.007	-0.005	-0.006	-0.003	0.000	0.004	0.015	0.085	0.137
15	0.002	0.012	-0.008	-0.001	0.008	-0.005	0.002	0.012	0.018	0.037	0.075	0.135
16	-0.001	-0.002	-0.009	-0.007	-0.008	-0.005	-0.002	-0.003	-0.001	-0.003	0.015	0.065
17	-0.012	0.033	-0.004	0.005	0.029	-0.003	0.010	0.034	0.049	0.072	0.125	0.170
18	0.002	0.007	-0.006	-0.003	0.002	-0.003	0.002	0.007	0.012	0.045	0.070	0.099
19	0.003	0.006	-0.006	-0.002	0.002	-0.001	0.002	0.003	0.009	0.039	0.179	0.277
20	-0.001	0.008	-0.010	-0.003	0.002	-0.007	-0.003	0.005	0.013	0.017	0.007	0.013

● 10000 Lastwechsel

■ 140000 Lastwechsel

TABELLE 3.2b

BALKEN L2 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15
GESAMTLAST [KN]	170.0	190.0	210.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]		
1	0.065	0.291	0.601
2	0.318	0.344	1.060
3	-0.060	-0.067	-0.131
4	0.268	0.314	0.311
5	0.035	0.081	0.109
6	0.429	0.785	1.569
7	-0.020	-0.029	-0.024
8	0.096	0.121	0.098
9	0.385	0.456	1.168
10	0.013	0.015	0.103
11	0.091	0.264	0.659
12	-0.037	-0.041	-0.021
13	0.330	0.348	0.957
14	0.184	0.212	0.228
15	0.187	0.225	0.265
16	0.085	0.035	0.031
17	0.211	0.750	1.551
18	0.221	0.145	0.121
19	0.368	0.451	1.282
20	0.018	0.020	-0.006

TABELLE 3.3a

BALKEN L3 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	90.0	110.0	130.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.003	0.003 ●	-0.003	-0.002	0.006 ■	-0.007	-0.003	0.003	0.002	0.001	0.003	0.002
2	0.013	0.044	0.002	0.014	0.054	0.002	0.014	0.055	0.075	0.143	0.259	0.329
3	0.003	0.010	-0.004	0.002	0.006	-0.002	0.000	0.006	0.005	0.008	0.051	0.081
4	0.001	0.011	-0.005	0.001	0.010	-0.003	-0.001	0.007	0.006	0.015	0.046	0.062
5	0.015	0.034	0.002	0.016	0.035	0.006	0.017	0.034	0.039	0.054	0.089	0.137
6	0.005	0.028	-0.005	0.006	0.032	-0.002	0.002	0.034	0.041	0.083	0.131	0.161
7	0.007	0.038	-0.004	0.009	0.042	-0.004	0.006	0.044	0.058	0.065	0.075	0.084
8	0.012	0.069	0.003	0.018	0.081	-0.001	0.019	0.081	0.104	0.173	0.243	0.282
9	0.006	0.023	-0.002	0.009	0.022	0.001	0.012	0.020	0.032	0.023	0.052	0.109
10	-0.001	0.006	-0.005	-0.002	0.006	-0.002	0.001	0.004	0.004	0.007	0.024	0.018
11	0.004	0.016	-0.004	0.004	0.014	-0.002	0.004	0.014	0.020	0.019	-0.012	-0.023
12	0.009	0.029	-0.001	-0.001	0.031	0.001	0.011	0.035	0.048	0.119	0.255	0.360
13	0.002	0.006	-0.002	-0.001	0.007	0.000	0.004	0.008	0.008	0.015	0.025	0.024
14	0.004	0.015	-0.004	0.000	0.019	-0.004	0.006	0.016	0.016	0.047	0.156	0.226
15	0.007	0.030	-0.003	0.000	0.025	-0.003	0.007	0.026	0.035	0.049	0.054	0.062
16	0.006	0.025	0.001	-0.006	0.023	-0.009	0.009	0.023	0.034	0.091	0.148	0.194
17	0.006	0.041	-0.021	-0.017	0.004	-0.021	0.013	0.001	0.000	-0.008	-0.005	0.000
18	0.006	0.025	0.014	0.016	0.081	0.019	0.029	0.091	0.130	0.197	0.342	0.376
19	0.011	0.032	-0.004	-0.003	0.023	-0.002	0.011	0.022	0.022	0.024	0.046	0.093
20	0.002	0.008	-0.003	-0.002	0.006	-0.004	0.000	0.004	0.007	0.016	0.050	0.073

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.3b

BALKEN L3 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]			
1	0.004	0.004	-0.001	-0.006
2	0.401	0.474	0.546	1.483
3	0.109	0.128	0.144	0.126
4	0.090	0.141	0.189	0.347
5	0.174	0.204	0.219	0.299
6	0.196	0.240	0.954	1.627
7	0.098	0.108	0.131	0.239
8	0.326	0.369	0.324	1.468
9	0.164	0.219	0.418	0.939
10	0.017	0.018	0.031	0.084
11	-0.031	-0.030	-0.034	-0.043
12	0.457	0.552	0.649	1.860
13	0.025	0.026	0.024	0.011
14	0.296	0.357	0.412	0.425
15	0.073	0.088	0.084	0.096
16	0.246	0.307	1.083	1.719
17	0.007	0.012	0.042	0.202
18	0.325	0.360	0.294	1.530
19	0.132	0.168	0.411	0.977
20	0.104	0.138	0.189	0.578

TABELLE 3.4a

BALKEN L4 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	90.0	110.0	130.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.005	0.019 ●	-0.001	0.002	0.017 ■	0.003	0.006	0.017	0.022	0.040	0.102	0.157
2	0.010	0.021	0.002	0.005	0.015	-0.004	0.005	0.016	0.019	0.021	0.012	0.008
3	0.009	0.031	0.006	0.013	0.022	0.008	0.019	0.040	0.057	0.097	0.183	0.260
4	0.000	0.012	0.001	0.002	0.006	0.003	0.006	0.002	-0.002	-0.006	-0.019	-0.017
5	0.008	0.017	0.004	0.013	0.019	0.010	0.008	0.020	0.023	0.036	0.063	0.127
6	0.005	0.012	0.001	0.004	0.012	0.006	0.003	0.011	0.011	0.021	0.042	0.092
7	0.009	0.036	0.005	-0.004	0.036	0.009	0.012	0.036	0.046	0.084	0.139	0.185
8	-0.003	0.019	-0.009	-0.004	0.013	0.003	0.004	0.006	0.018	0.027	0.059	0.087
9	0.007	0.038	-0.003	0.002	0.026	0.005	0.000	0.031	0.044	0.082	0.139	0.180
10	0.003	0.018	0.003	0.004	0.010	0.003	0.006	0.014	0.017	0.016	0.017	0.038
11	0.005	0.024	0.003	0.004	0.017	0.004	0.006	0.021	0.029	0.050	0.096	0.134
12	0.009	0.022	0.003	0.012	0.010	0.005	0.006	0.014	0.022	0.020	0.033	0.047
13	0.010	0.019	0.002	0.010	0.027	0.004	0.005	0.019	0.031	0.045	0.111	0.161
14	0.008	0.020	0.004	0.010	0.018	0.010	0.010	0.018	0.020	0.033	0.037	0.046
15	0.007	0.014	0.004	0.006	0.016	0.003	0.003	0.010	0.020	0.038	0.085	0.206
16	0.001	0.009	0.000	-0.001	0.007	0.006	0.005	0.020	0.007	0.007	0.001	0.018
17	0.012	0.052	0.009	0.018	0.060	0.009	0.016	0.064	0.070	0.120	0.185	0.236
18	0.001	0.013	-0.001	0.002	0.010	0.001	0.003	0.009	0.016	0.016	0.003	0.004
19	0.005	0.025	0.001	0.002	0.026	0.001	0.006	0.026	0.038	0.089	0.173	0.218
20	0.007	0.015	0.003	0.004	0.013	0.002	0.005	0.015	0.017	0.024	0.022	0.060

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.4b

BALKEN L4 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]			
1	0.208	0.268	0.380	0.901
2	0.007	0.008	-0.013	-0.062
3	0.334	0.411	0.492	1.685
4	-0.026	-0.024	-0.047	0.533
5	0.171	0.202	1.061	1.208
6	0.160	0.229	0.244	1.696
7	0.222	0.252	0.217	0.195
8	0.118	0.144	0.150	0.153
9	0.214	0.252	0.286	1.746
10	0.050	0.051	0.198	0.620
11	0.169	0.191	0.212	0.317
12	0.084	0.122	0.176	2.055
13	0.203	0.229	0.255	0.147
14	0.053	0.056	0.030	0.023
15	0.281	0.345	1.138	1.569
16	0.043	0.075	0.187	1.333
17	0.286	0.327	0.366	1.067
18	0.002	0.003	-0.006	-0.057
19	0.252	0.291	0.398	1.196
20	0.104	0.147	0.292	0.701

TABELLE 3.5a

BALKEN L5 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	90.0	110.0	130.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.009	0.028 ●	0.003	0.020	0.039 ■	0.000	0.011	0.029	0.043	0.058	0.098	0.301
2	0.007	0.008	0.001	0.004	0.015	0.002	0.005	0.007	0.011	0.011	0.017	0.020
3	-0.021	0.009	0.009	0.010	0.017	0.001	0.004	0.014	0.019	0.029	0.053	0.073
4	0.027	0.071	0.011	0.024	0.089	-0.001	0.023	0.094	0.129	0.193	0.260	0.319
5	0.010	0.017	0.000	0.009	0.016	0.000	0.001	0.008	0.009	0.006	0.005	0.005
6	0.013	0.043	0.004	0.017	0.048	0.004	0.015	0.052	0.077	0.116	0.161	0.208
7	0.032	0.114	-0.004	0.041	0.154	0.003	0.046	0.151	0.205	0.272	0.343	0.422
8	0.010	0.021	-0.002	0.006	0.016	-0.003	0.001	0.006	0.006	0.009	0.012	0.011
9	0.012	0.029	0.007	0.016	0.039	0.007	0.021	0.038	0.045	0.071	0.108	0.147
10	0.006	0.017	-0.004	0.004	0.017	-0.003	-0.001	0.009	0.009	0.012	0.008	-0.003
11	0.013	0.019	-0.002	0.012	0.022	-0.001	0.006	0.011	0.015	0.013	0.019	0.028
12	0.009	0.009	-0.002	0.009	0.011	-0.003	-0.005	-0.008	-0.002	-0.008	-0.010	-0.012
13	0.021	0.078	0.006	0.019	0.098	0.007	0.021	0.097	0.139	0.223	0.311	0.349
14	0.011	0.014	0.002	0.011	0.017	0.003	0.004	0.007	0.007	0.069	0.058	0.056
15	0.015	0.034	-0.003	0.012	0.039	-0.002	0.013	0.025	0.040	0.055	0.075	0.093
16	0.008	0.033	0.000	0.006	0.045	-0.003	0.007	0.044	0.065	0.090	0.124	0.163
17	0.022	0.074	0.001	0.027	0.088	0.004	0.020	0.090	0.112	0.138	0.161	0.184
18	0.014	0.039	-0.001	0.014	0.045	0.000	0.008	0.039	0.062	0.106	0.165	0.221
19	0.008	0.012	0.002	0.003	0.015	0.003	0.001	0.003	0.006	0.007	0.008	0.010
20	0.008	0.018	-0.001	0.008	0.025	0.001	0.003	0.013	0.020	0.042	0.126	0.165

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.5b

BALKEN L5 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]			
1	0.377	0.440	1.021	1.975
2	0.040	0.120	0.147	0.206
3	0.101	0.132	0.147	0.115
4	0.373	0.428	0.488	0.779
5	0.004	0.003	0.004	0.001
6	0.260	0.313	0.361	0.278
7	0.502	0.575	0.686	1.587
8	0.011	0.009	0.008	0.217
9	0.194	0.239	0.457	0.835
10	-0.004	-0.006	-0.017	-0.027
11	0.229	0.298	0.639	1.763
12	-0.022	-0.024	-0.026	-0.012
13	0.023	0.394	0.429	0.693
14	0.104	0.160	0.207	0.213
15	0.106	0.120	0.137	0.143
16	0.199	0.241	0.287	0.146
17	0.204	0.231	0.272	1.390
18	0.274	0.334	0.391	0.425
19	0.010	0.017	0.020	0.002
20	0.265	0.340	0.415	1.064

TABELLE 3.6a

BALKEN L6 , LÄNGENÄNDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [kN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	90.0	110.0	130.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [mm]											
1	0.001	0.015 ●				■ 0.014	0.004	0.002	0.004	0.009	0.009	0.010
2	0.017	0.041				0.009	0.021	0.035	0.050	0.099	0.173	0.252
3	0.002	0.015				0.006	0.014	0.037	0.069	0.099	0.163	0.201
4	0.011	0.030				0.004	0.015	0.043	0.059	0.102	0.173	0.227
5	0.002	0.015				0.003	0.007	0.010	0.010	0.013	0.033	0.121
6	0.004	0.015				0.005	0.011	0.015	0.015	0.022	0.022	0.023
7	0.018	0.040				0.007	0.029	0.076	0.094	0.137	0.196	0.259
8	0.009	0.011	LASTSTUFEN 3,4 UND 5			0.001	0.013	0.003	0.005	0.008	0.010	0.014
9	0.010	0.029	WURDEN MESSTECHNISCH			0.002	0.017	0.013	0.040	0.067	0.075	0.140
10	-0.002	0.020	NICHT ERFASST			0.011	0.019	0.018	0.001	0.018	0.014	0.014
11	0.003	0.011				0.007	0.014	0.018	0.019	0.023	0.029	0.032
12	0.004	0.019				0.019	0.019	0.034	0.034	0.027	0.025	0.034
13	0.007	0.030				0.008	0.015	0.035	0.051	0.116	0.183	0.203
14	0.008	0.025				0.009	0.015	0.028	0.034	0.060	0.110	0.191
15	0.014	0.024				0.001	0.002	0.015	0.012	0.033	0.095	0.165
16	0.056	0.019				0.009	0.013	0.024	0.026	0.043	0.158	0.082
17	0.010	0.024				0.012	0.016	0.028	0.035	0.039	0.045	0.050
18	0.004	0.029				0.011	0.014	0.047	0.065	0.098	0.135	0.178
19	0.010	0.023				0.005	0.009	0.029	0.042	0.075	0.118	0.163
20	0.006	0.018				0.002	0.012	0.023	0.024	0.068	0.193	0.218

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.6b

BALKEN L6 , LÄNGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15
GESAMTLAST [KN]	170.0	190.0	210.0
MESSSTELLEN-NR	DELTA L [MM]		
1	0.012	0.017	0.023
2	0.322	0.412	0.500
3	0.219	0.234	0.298
4	0.273	0.317	0.312
5	0.177	0.262	0.355
6	0.014	0.026	0.030
7	0.304	0.357	0.423
8	0.023	0.038	0.048
9	0.133	0.202	0.305
10	0.014	0.026	0.015
11	0.035	0.030	0.021
12	0.034	0.088	0.018
13	0.227	0.258	0.311
14	0.248	0.316	0.342
15	0.297	0.267	0.291
16	0.103	0.160	0.209
17	0.048	0.062	0.088
18	0.093	0.229	0.335
19	0.218	0.297	0.339
20	0.248	0.295	0.496

TABELLE 3.7a

BALKEN L7 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	90.0	110.0	130.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.003	0.039 ●	-0.008	0.003	0.041 ■	0.001	0.000	0.021	0.050	0.101	0.133	0.171
2	0.004	0.029	0.004	0.007	0.027	0.001	0.002	0.024	0.040	0.064	0.095	0.134
3	-0.001	0.014	-0.006	0.004	0.014	-0.003	-0.001	0.013	0.017	0.015	0.014	0.012
4	0.006	0.020	-0.007	0.006	0.007	-0.003	0.005	0.003	0.005	0.007	0.012	0.019
5	0.018	0.066	0.014	0.031	0.099	0.019	0.033	0.112	0.151	0.224	0.330	0.431
6	0.011	0.080	-0.007	0.012	0.076	-0.009	0.003	0.071	0.091	0.110	0.124	0.144
7	0.007	0.014	0.002	0.016	0.015	0.004	0.010	0.014	0.018	0.026	0.029	0.031
8	0.015	0.085	0.001	0.019	0.093	-0.001	0.016	0.097	0.130	0.191	0.266	0.320
9	0.006	0.008	-0.007	0.007	0.010	-0.006	-0.001	-0.002	-0.006	0.015	0.017	0.056
10	-0.003	0.043	-0.024	0.006	0.053	0.001	-0.002	0.070	0.068	0.104	0.137	0.166
11	0.007	0.031	0.000	0.009	0.029	0.009	0.008	0.032	0.052	0.062	0.072	0.089
12	0.013	0.093	-0.004	0.019	0.097	0.003	0.018	0.104	0.133	0.171	0.226	0.289
13	0.007	0.009	0.002	0.013	0.009	0.005	0.007	0.008	0.019	0.022	0.024	0.020
14	0.006	-0.002	-0.009	0.007	0.011	0.002	0.003	0.011	0.011	0.026	0.039	0.080
15	0.014	0.058	0.003	0.018	0.066	0.002	0.007	0.073	0.099	0.146	0.194	0.241
16	0.021	0.126	0.004	0.029	0.134	0.010	0.026	0.134	0.178	0.216	0.262	0.312
17	0.008	-0.002	-0.005	0.006	-0.006	-0.004	0.000	-0.001	-0.005	-0.014	-0.012	-0.017
18	0.005	0.045	0.002	0.013	0.045	-0.001	0.002	0.045	0.004	0.094	0.108	0.128
19	0.009	0.029	0.002	0.013	0.037	0.002	0.010	0.039	0.059	0.091	0.146	0.211
20	0.008	0.085	0.000	0.012	0.089	0.003	0.010	0.042	0.118	0.132	0.132	0.136

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.7b

BALKEN L7 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT STEZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15
GESAMTLAST [KN]	170.0	190.0	210.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]		
1	0.193	0.211	1.013
2	0.168	0.212	0.492
3	0.009	0.005	-0.010
4	0.021	0.039	0.128
5	0.530	0.597	0.530
6	0.193	0.344	0.295
7	0.026	0.048	0.016
8	0.352	0.373	0.278
9	0.134	0.208	0.831
10	0.182	0.147	0.088
11	0.108	0.131	0.687
12	0.344	0.443	1.112
13	0.005	-0.003	-0.022
14	0.149	0.220	0.191
15	0.287	0.324	0.336
16	0.357	0.398	0.552
17	-0.013	-0.019	-0.035
18	0.142	0.151	0.074
19	0.286	0.367	0.911
20	0.142	0.119	0.061

TABELLE 3.8a

BALKEN L8 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	90.0	110.0	130.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.002	0.006 ●	0.001	-0.003	0.006 ■	-0.004	0.001	0.002	0.011	0.015	0.039	0.042
2	0.013	0.034	0.005	0.011	0.035	-0.002	0.005	0.033	0.049	0.066	0.096	0.120
3	0.004	0.030	0.002	0.001	0.040	0.001	0.007	0.032	0.067	0.103	0.103	0.114
4	0.014	0.039	0.010	0.013	0.053	0.003	0.008	0.041	0.061	0.154	0.154	0.211
5	-0.005	0.006	0.029	0.006	0.013	0.002	0.008	0.005	0.009	0.013	0.013	0.012
6	0.001	0.037	0.003	0.017	0.033	0.007	0.013	0.037	0.053	0.085	0.085	0.102
7	0.031	0.100	0.025	0.034	0.103	0.023	0.029	0.103	0.139	0.263	0.263	0.332
8	0.004	0.016	0.018	0.016	0.016	-0.008	-0.015	0.012	0.020	0.051	0.051	0.058
9	0.042	0.050	0.005	0.049	0.062	0.047	0.047	0.045	0.055	0.069	0.069	0.100
10	0.005	0.061	0.011	0.049	0.135	0.053	0.033	0.063	0.095	0.147	0.147	0.185
11	0.016	0.023	0.034	0.024	0.035	0.023	0.034	0.033	0.033	0.036	0.052	0.062
12	0.011	0.076	0.001	0.020	0.099	0.004	0.023	0.099	0.131	0.190	0.270	0.341
13	-0.003	0.032	0.003	-0.010	0.039	0.006	0.021	0.038	0.043	0.018	0.039	0.038
14	0.014	0.038	0.009	0.014	0.049	0.003	0.008	0.039	0.059	0.149	0.156	0.201
15	0.002	0.005	0.002	0.005	0.012	0.001	0.007	0.004	0.008	0.014	0.015	0.015
16	0.005	0.009	0.012	0.008	0.011	0.001	0.005	0.009	0.003	-0.008	-0.001	0.012
17	0.014	0.069	0.043	0.024	0.093	0.007	0.027	0.097	0.129	0.188	0.263	0.336
18	0.007	0.067	-0.006	0.016	0.075	-0.007	0.015	0.073	0.094	0.123	0.172	0.193
19	0.001	0.008	-0.003	-0.001	0.015	-0.002	0.001	0.007	0.013	0.028	0.066	0.112
20	0.000	0.024	-0.010	0.002	0.042	0.000	0.003	0.036	0.055	0.091	0.141	0.175

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.8b

BALKEN L8 , LAENGENAUFENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15
GESAMTLAST [KN]	170.0	190.0	210.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]		
1	0.055	0.059	0.372
2	0.158	0.210	0.239
3	0.130	0.152	0.107
4	0.267	0.323	0.755
5	0.014	0.021	0.011
6	0.124	0.142	0.165
7	0.412	0.502	0.603
8	0.065	0.076	0.087
9	0.114	0.135	0.532
10	0.226	0.289	0.395
11	0.067	0.075	0.065
12	0.411	0.489	0.456
13	0.037	0.024	0.031
14	0.265	0.321	0.754
15	0.015	0.020	0.025
16	0.011	0.005	-0.003
17	0.416	0.503	0.577
18	0.226	0.268	0.337
19	0.144	0.177	0.196
20	0.208	0.267	0.906

TABELLE 3.9a

BALKEN L9 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	90.0	110.0	130.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	-0.001	0.026 ●	0.010	0.014	0.037 ■	0.009	0.014	0.047	0.058	0.098	0.151	0.185
2	-0.007	0.006	-0.001	0.003	0.011	0.003	0.005	0.015	0.019	0.018	0.028	0.025
3	0.004	0.020	0.015	0.017	0.030	0.018	0.022	0.038	0.044	0.195	0.303	0.419
4	-0.007	0.003	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.008	0.003	0.010	0.017	-0.004
5	0.006	0.022	0.017	0.006	0.013	0.027	0.016	0.058	0.058	0.115	0.178	0.242
6	-0.006	0.024	0.001	0.031	0.028	0.001	0.045	0.045	0.064	0.116	0.168	0.213
7	0.003	0.015	-0.001	-0.005	-0.008	0.009	0.013	0.017	0.015	0.029	0.057	0.066
8	0.002	0.020	0.009	0.009	0.013	0.012	0.014	0.026	0.032	0.042	0.182	0.167
9	0.002	0.011	0.014	0.012	0.017	0.012	0.015	0.021	0.021	0.034	0.035	0.101
10	0.014	0.019	0.005	0.014	0.020	0.013	0.017	0.021	0.011	0.043	0.060	0.082
11	0.005	0.018	0.015	0.015	0.021	0.010	0.016	0.024	0.022	0.024	0.026	0.032
12	0.008	0.020	0.016	0.016	0.015	0.009	0.019	0.024	0.025	0.046	0.086	0.176
13	0.003	0.020	0.014	0.014	0.031	0.014	0.019	0.038	0.045	0.160	0.238	0.309
14	0.009	0.022	0.007	0.013	0.006	0.013	0.009	0.026	0.029	0.045	0.045	0.050
15	0.006	0.016	0.016	0.016	0.021	0.032	0.011	0.016	0.010	0.036	0.100	0.168
16	0.007	0.033	0.015	0.020	0.035	0.015	0.009	0.056	0.076	0.084	0.104	0.130
17	0.004	0.022	0.014	0.015	0.019	0.015	0.019	0.030	0.038	0.127	0.162	0.181
18	0.003	0.018	0.011	0.016	0.025	0.014	0.014	0.028	0.035	0.047	0.192	0.240
19	0.005	0.020	0.016	0.016	0.030	0.012	0.022	0.032	0.039	0.055	0.111	0.214
20	-0.021	0.001	0.006	-0.005	0.010	-0.005	0.000	0.003	0.019	0.108	0.171	0.136

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.9b

BALKEN L9 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15
GESAMTLAST [KN]	170.0	190.0	210.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]		
1	0.236	0.367	0.663
2	0.008	-0.006	-0.037
3	0.563	0.968	1.833
4	-0.008	-0.014	-0.016
5	0.348	0.604	1.181
6	0.270	0.434	0.658
7	0.060	0.079	0.106
8	0.322	0.486	0.000
9	0.183	0.407	0.000
10	0.076	0.090	0.161
11	0.020	0.032	0.040
12	0.248	0.444	0.878
13	0.228	0.520	0.940
14	0.036	0.033	0.009
15	0.248	0.413	0.612
16	0.000	0.000	0.000
17	0.000	0.000	0.000
18	0.283	0.388	0.590
19	0.322	0.586	1.139
20	0.265	0.347	0.751

TABELLE 3.10a

BALKEN L10 , LAENGENAENDERUNG DER RIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	90.0	110.0	130.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.005	0.005 ●	-0.014	-0.001	-0.004 ■	0.000	0.005	0.015	0.011	0.016	0.017	0.009
2	0.007	0.024	0.009	0.009	0.028	-0.004	0.005	0.022	0.030	0.065	0.140	0.220
3	0.008	0.030	0.007	0.011	0.032	0.001	0.006	0.032	0.046	0.065	0.083	0.093
4	-0.008	-0.012	-0.013	-0.020	0.004	-0.007	-0.017	-0.010	-0.006	0.005	0.043	0.067
5	0.028	0.042	0.025	0.029	0.036	0.023	0.031	0.040	0.046	0.055	0.102	0.145
6	0.005	0.015	0.008	0.012	0.019	0.007	0.011	0.020	0.022	0.140	0.233	0.326
7	0.002	0.038	-0.003	0.003	0.012	-0.006	0.007	0.014	0.014	0.018	0.018	0.020
8	0.012	0.045	0.003	0.011	0.040	0.003	0.011	0.045	0.060	0.035	0.114	0.156
9	0.009	0.032	0.005	0.014	0.032	0.008	0.012	0.037	0.043	0.138	0.244	0.356
10	0.004	0.012	0.004	0.004	0.005	-0.001	0.004	0.008	-0.001	0.004	0.009	0.012
11	0.006	0.018	0.007	0.009	0.009	0.004	0.010	0.017	0.018	0.022	0.036	0.035
12	0.020	0.030	0.009	0.014	0.025	0.003	0.008	0.021	0.027	0.067	0.127	0.195
13	0.008	0.040	0.000	0.007	0.040	-0.002	0.008	0.041	0.063	0.097	0.157	0.216
14	0.002	0.005	0.000	0.003	-0.010	0.000	0.006	0.009	0.003	0.001	-0.001	-0.007
15	0.003	0.013	0.004	0.004	0.017	0.001	0.017	0.018	-0.015	0.017	0.019	0.014
16	-0.004	0.002	-0.010	-0.012	0.003	-0.027	-0.007	0.006	0.008	0.147	0.138	0.403
17	0.008	0.038	0.018	0.019	0.039	0.005	0.020	0.041	0.038	0.089	0.228	0.157
18	0.002	0.010	0.006	0.002	0.011	0.005	0.001	0.004	0.002	0.003	-0.002	-0.012
19	0.009	0.040	0.004	0.020	0.047	0.000	0.004	0.047	0.054	0.154	0.201	0.421
20	0.004	0.016	0.005	0.006	0.014	0.001	0.006	0.015	0.012	0.021	0.015	0.023

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.10b

BALKEN L10 , LAENGENAENDERUNG DER BIEGEZUGSEITE
MESSUNG MIT SETZOEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15
GESAMTLAST [KN]	170.0	190.0	210.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]		
1	0.011	0.020	0.312
2	0.375	0.737	1.337
3	0.113	0.154	0.183
4	0.141	0.298	0.304
5	0.213	0.346	0.942
6	0.495	0.920	1.493
7	0.022	-0.104	-0.124
8	0.223	0.417	0.804
9	0.573	1.040	1.847
10	0.007	0.002	-0.026
11	0.033	0.012	-0.017
12	0.328	0.679	1.350
13	0.333	0.562	1.040
14	-0.010	-0.009	0.006
15	0.004	-0.017	-0.041
16	0.634	1.162	0.000
17	0.203	0.240	0.000
18	-0.018	0.077	0.420
19	0.680	1.152	1.949
20	0.011	-0.027	-0.018

TABELLE 3.11

BALKEN L1 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN 1/100 MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8
GEAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.27	0.72 ●	0.08	0.36	0.81 ■	0.12	0.42	0.88
2	0.27	0.75	0.06	0.34	0.83	0.08	0.37	0.86
3	0.23	0.68	0.04	0.28	0.72	0.06	0.30	0.73
4	0.12	0.28	0.03	0.15	0.30	0.06	0.18	0.33
5	0.18	0.42	0.13	0.33	0.54	0.23	0.44	0.65

LASTSTUFE	9	10	11	12	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	90.0	110.0	130.0	150.0	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	1.07	1.49	2.35	3.16	3.99	4.74	7.21	15.47
2	1.05	1.57	2.61	3.45	4.25	4.92	7.56	17.65
3	0.90	1.32	2.08	2.81	3.54	4.27	6.89	14.86
4	0.38	0.51	0.73	0.94	1.15	1.35	2.05	4.14
5	0.71	0.88	1.11	1.35	1.59	1.80	2.48	4.78

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.12

BALKEN L2 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN 1/100 MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8
GEAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.25	0.63 ●	-0.02	0.25	0.61 ■	-0.05	0.22	0.61
2	0.23	0.66	0.05	0.32	0.72	0.04	0.30	0.73
3	0.22	0.57	0.04	0.27	0.61	0.04	0.27	0.62
4	0.09	0.24	0.04	0.13	0.25	0.02	0.12	0.25
5	0.18	0.40	0.04	0.26	0.46	0.04	0.26	0.47

LASTSTUFE	9	10	11	12	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	90.0	110.0	130.0	150.0	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.78	1.17	1.84	2.58	3.44	5.40	10.04	22.44
2	0.92	1.35	2.18	3.01	3.96	5.97	11.18	25.20
3	0.77	1.14	1.79	2.45	3.19	4.78	8.98	20.70
4	0.30	0.42	0.62	0.82	1.07	1.52	2.72	7.24
5	0.55	0.68	0.94	1.18	1.48	2.02	3.30	7.31

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.13

BALKEN L3 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN 1/100 MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8
GEAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.30	0.85 ●	0.07	0.38	0.94 ■	0.05	0.36	0.96
2	0.30	0.90	0.04	0.37	0.99	0.02	0.35	1.00
3	0.28	0.80	-0.01	0.27	0.80	-0.06	0.23	0.78
4	0.10	0.28	0.01	0.12	0.30	0.00	0.10	0.29
5	0.18	0.44	0.05	0.25	0.49	0.05	0.26	0.52

LASTSTUFE	9	10	11	12	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	90.0	110.0	130.0	150.0	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	1.21	1.69	2.50	3.11	3.78	4.51	6.97	12.00
2	1.28	1.84	2.80	3.52	4.29	5.13	8.02	14.26
3	1.05	1.56	2.52	3.25	3.99	4.77	7.51	12.93
4	0.37	0.50	0.75	0.94	1.13	1.33	2.06	3.56
5	0.62	0.78	1.06	1.26	1.48	1.74	2.48	4.00

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.14

BALKEN L4 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN 1/100 MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8
GEAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.30	0.75 ●	0.03	0.35	0.81 ■	0.03	0.36	0.82
2	0.28	0.77	0.03	0.34	0.82	0.03	0.35	0.85
3	0.25	0.71	0.08	0.35	0.83	0.07	0.35	0.82
4	0.09	0.25	0.01	0.12	0.27	0.01	0.10	0.27
5	0.20	0.40	0.04	0.26	0.47	-0.01	0.20	0.43

LASTSTUFE	9	10	11	12	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	90.0	110.0	130.0	150.0	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.99	1.30	1.89	2.68	3.42	4.56	7.51	17.81
2	1.06	1.53	2.31	3.24	4.09	5.29	9.66	20.56
3	1.02	1.43	2.11	2.97	3.67	4.80	8.32	18.37
4	0.34	0.45	0.66	0.92	1.14	1.46	2.51	5.06
5	0.51	0.64	0.84	1.09	1.36	1.69	2.78	5.51

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.15

BALKEN L5 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN 1/100 MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8
GESAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.32	0.89	● 0.06	0.42	1.02	■ 0.05	0.44	1.08
2	0.34	1.01	0.07	0.43	1.16	0.04	0.45	1.20
3	0.28	0.83	0.05	0.36	0.94	0.05	0.38	0.99
4	0.12	0.31	0.03	0.15	0.35	0.01	0.14	0.36
5	0.20	0.46	0.02	0.26	0.51	0.02	0.28	0.54

LASTSTUFE	9	10	11	12	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	90.0	110.0	130.0	150.0	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	1.35	1.84	2.44	3.29	4.03	4.86	7.17	12.51
2	1.53	2.13	2.92	3.83	4.70	5.63	8.10	14.18
3	1.27	1.79	2.53	3.30	4.07	4.90	7.29	12.69
4	0.45	0.59	0.79	1.00	1.21	1.46	2.09	3.52
5	0.64	0.84	1.09	1.36	1.63	1.90	2.63	4.22

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.16

BALKEN L6 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN 1/100 MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8
GEAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.28	0.78	● 0.04	0.41	0.86	■ 0.05	0.43	0.89
2	0.27	0.77	0.01	0.34	0.82	0.02	0.36	0.84
3	0.24	0.67	0.04	0.32	0.73	0.04	0.33	0.75
4	0.07	0.24	0.02	0.19	0.35	0.06	0.21	0.35
5	0.18	0.46	0.02	0.33	0.58	0.02	0.33	0.59

LASTSTUFE	9	10	11	12	13	14	15
GESAMTLAST [KN]	90.0	110.0	130.0	150.0	170.0	190.0	210.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]						
1	1.11	1.60	2.29	3.00	4.29	4.72	7.01
2	1.08	1.60	2.37	3.21	4.22	5.31	7.63
3	0.95	1.40	2.07	2.78	3.78	4.66	6.83
4	0.42	0.57	0.79	1.00	1.45	1.59	2.21
5	0.66	0.84	1.10	1.33	1.60	1.85	2.50

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.17

BALKEN L7 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHRN 1/100 MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8
GEAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5
MESSUHRN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.34	1.15 ●	0.08	0.52	1.33 ■	0.09	0.55	1.40
2	0.36	1.30	0.11	0.54	0.48	0.09	0.55	1.52
3	0.29	1.07	0.09	0.43	1.22	0.07	0.45	1.26
4	0.10	0.38	0.02	0.15	0.42	0.06	0.21	0.48
5	0.21	0.59	0.08	0.40	0.74	0.10	0.48	0.82

LASTSTUFE	9	10	11	12	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	90.0	110.0	130.0	150.0	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSUHRN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	1.72	2.27	2.97	3.66	4.39	5.65	9.60	15.95
2	1.92	2.53	3.31	4.07	4.86	6.19	10.15	17.29
3	1.58	2.11	2.76	3.38	4.05	5.23	8.65	14.83
4	0.68	0.76	0.95	1.12	1.32	1.67	2.63	4.57
5	0.94	1.11	1.32	1.52	1.73	2.15	3.16	4.89

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.18

BALKEN L8 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN 1/100 MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8
GEAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.27	0.90 ●	0.04	0.36	1.01 ■	0.03	0.37	1.01
2	0.30	0.97	0.06	0.36	1.07	0.04	0.38	1.08
3	0.26	0.82	0.06	0.32	0.94	0.04	0.31	0.95
4	0.09	0.31	0.12	0.21	0.44	0.20	0.31	0.52
5	0.20	0.45	0.03	0.24	0.51	0.00	0.24	0.52

LASTSTUFE	9	10	11	12	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	90.0	110.0	130.0	150.0	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	1.32	1.80	2.46	3.15	3.86	4.95	8.06	14.40
2	1.44	2.00	2.69	3.41	4.22	5.34	8.60	16.08
3	1.23	1.71	2.33	2.98	3.68	4.58	7.43	13.72
4	0.61	0.75	0.94	1.14	1.35	1.62	2.46	4.29
5	0.62	0.79	1.02	1.21	1.45	1.77	2.67	9.59

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.19

BALKEN L9 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN 1/100 MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8
GEAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.24	0.54 ●	0.00	0.24	0.54 ■	0.01	0.28	0.64
2	0.18	0.56	0.02	0.18	0.58	0.06	0.20	0.60
3	0.22	0.53	0.00	0.22	0.54	0.02	0.23	0.57
4	0.08	0.20	0.01	0.09	0.19	0.01	0.10	0.20
5	0.17	0.34	0.01	0.19	0.36	0.02	0.21	0.38

LASTSTUFE	9	10	11	12	13	14	15	16
GESAMTLAST [KN]	90.0	110.0	130.0	150.0	170.0	190.0	210.0	230.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.78	1.36	2.20	3.11	4.31	6.32	10.36	20.99
2	0.77	1.42	2.38	3.44	4.77	8.12	12.09	29.96
3	0.70	1.25	2.09	3.01	4.09	6.10	10.18	20.58
4	0.23	0.40	0.66	0.95	1.26	1.83	2.95	6.08
5	0.45	0.64	0.93	1.21	1.59	2.20	3.41	11.57

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 3.20

BALKEN L10 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN 1/100 MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8
GEAMTLAST [KN]	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5	0.0	30.0	72.5
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	0.26	0.67 ●	0.09	0.49	0.85 ■	0.09	0.54	0.91
2	0.18	0.66	0.06	0.44	0.84	0.08	0.47	0.89
3	0.20	0.57	0.01	0.30	0.64	0.04	0.34	0.69
4	0.10	0.23	0.03	0.14	0.26	0.06	0.18	0.31
5	0.20	0.51	0.12	0.48	0.70	0.09	0.51	0.71

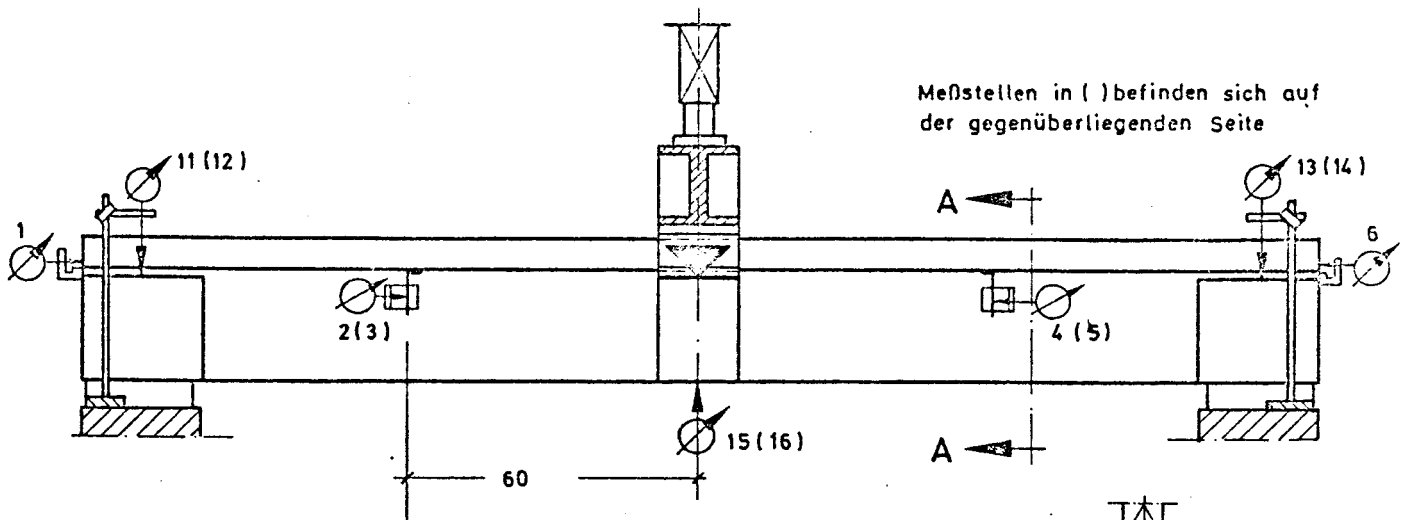
LASTSTUFE	9	10	11	12	13	14	15
GESAMTLAST [KN]	90.0	110.0	130.0	150.0	170.0	190.0	210.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]						
1	1.09	0.66	2.55	3.49	4.93	7.74	13.55
2	1.09	1.76	2.82	3.93	5.62	9.00	16.03
3	0.84	1.35	2.32	3.24	4.64	7.38	13.11
4	0.36	0.53	0.83	1.09	1.49	2.26	3.83
5	0.80	0.99	1.27	1.62	2.06	2.84	4.49

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

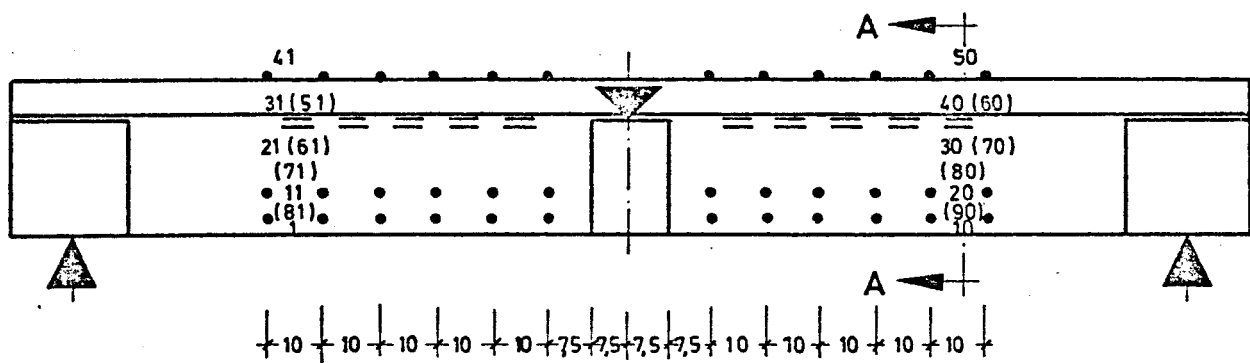
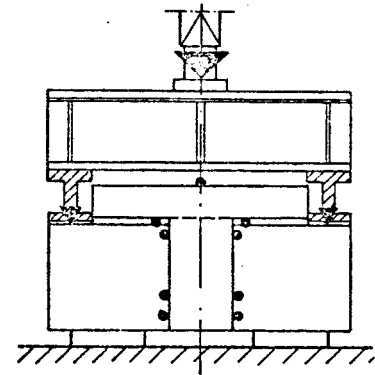
A N L A G E 4 :

VERSUCHSBALKEN EO bis E3

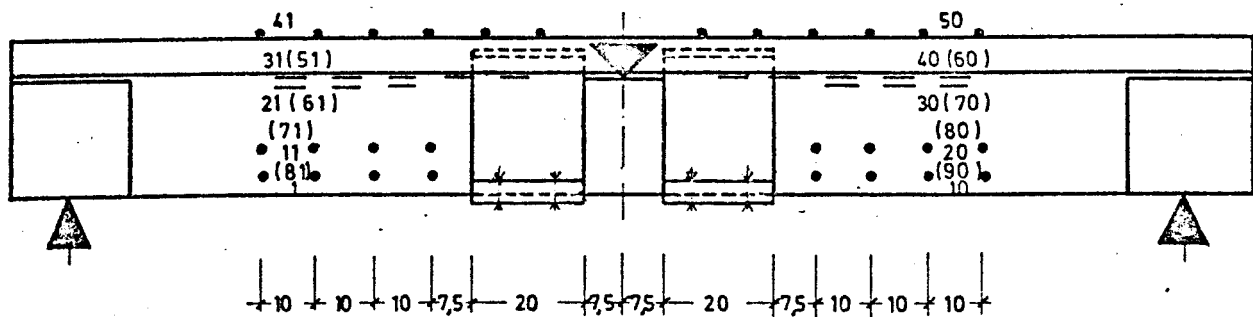


Belastungseinrichtung und
Meßuhrenanordnung

Schnitt A-A



SDM - Marken und DMS an Versuchsbalken E₀ bis E₂



SDM-Marken und DMS an Versuchsbalken E₃

TABELLE 4.1

TABELLE BALKEN E0 , BETONDEHNUNG
MESSUNG MIT DEHNUNGSMESSTREIFEN L = 60MM

LASTSTUFE	1	2	3
GESAMTLAST [KN]	28,6	71,5	114,4
MESSTELLEN-NR	DEHNUNG	{0/00}	
21	-0.020	-0.049	-0.063
22	-0.028	-0.063	-0.116
23	-0.031	-0.071	-0.055
24	-0.038	-0.080	-0.134
25	-0.038	-0.081	-0.131
26	-0.044	-0.109	-0.125
27	-0.039	-0.094	-0.125
28	-0.031	-0.070	-0.101
29	-0.024	-0.049	-0.053
30	-0.018	-0.045	-0.074
31	-0.021	-0.056	-0.075
32	-0.028	-0.064	-0.102
33	-0.033	-0.082	-0.102
34	-0.042	-0.106	-0.169
35	-0.043	-0.108	-0.182
36	-0.039	-0.103	-0.129
37	-0.035	-0.088	-0.135
38	-0.030	-0.071	-0.099
39	-0.025	-0.060	-0.070
40	-0.018	-0.047	-0.081
51	-0.021	-0.052	-0.066
52	-0.031	-0.073	-0.120
53	-0.039	-0.098	-0.122
54	-0.011	-0.079	-0.132
55	-0.040	-0.093	-0.155
56	-0.052	-0.139	-0.191
57	-0.038	-0.089	-0.147
58	-0.030	-0.070	-0.098
59	-0.027	-0.066	-0.069
60	-0.021	-0.050	-0.087
61	-0.018	-0.043	-0.068
62	-0.022	-0.053	-0.080
63	-0.027	-0.069	-0.063
64	-0.030	-0.068	-0.114
65	-0.028	-0.068	-0.069
66	-0.045	-0.124	-0.166
67	-0.027	-0.056	-0.087
68	-0.025	-0.057	-0.092
69	-0.018	-0.046	-0.006
70	-0.019	-0.048	-0.101

TABELLE 4.2a

RALKEN E1 , BETONDEHNUNG
MESSUNG MIT DEHNUNGSMESSTREIFEN l = 60MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	18,0	36,0	54,0	72,0	90,0	80,0	36,0	0,0	0,0	36,0	80,0	0,0
MESSTELLEN-NR	DEHNUNG [0/00]											
21	-0,010	-0,018	-0,026	-0,040	-0,008	-0,041	-0,015	0,004	0,002	-0,016	-0,043	-0,005
22	-0,010	-0,018	-0,025	-0,029	0,000	-0,029	-0,004	0,015	0,004	-0,016	-0,044	-0,005
23	-0,018	-0,029	-0,042	-0,055	-0,004	-0,056	-0,020	0,009	0,007	-0,027	-0,064	-0,009
24	-0,019	-0,036	-0,055	-0,071	0,000	-0,066	-0,020	0,015	0,016	-0,017	-0,059	0,008
25	-0,024	-0,040	-0,053	-0,071	-0,003	-0,078	-0,034	0,000	0,004	-0,032	-0,076	0,000
26	-0,022	-0,040	-0,053	-0,077	0,016	-0,092	-0,038	0,001	0,007	-0,033	-0,079	0,009
27	-0,020	-0,036	-0,053	-0,072	-0,002	-0,078	-0,031	0,010	0,014	-0,023	-0,069	0,010
28	-0,019	-0,029	-0,042	-0,056	0,001	-0,053	-0,015	0,022	0,019	-0,011	-0,046	0,013
29	-0,012	-0,026	-0,039	-0,049	0,012	-0,048	-0,012	0,011	0,022	-0,004	-0,026	0,007
30	-0,012	-0,018	-0,024	-0,031	0,000	-0,035	-0,015	0,004	0,003	-0,015	-0,038	-0,002
31	-0,015	-0,024	-0,035	-0,064	-0,015	-0,067	-0,035	-0,008	-0,007	-0,033	-0,066	-0,009
32	-0,015	-0,029	-0,061	-0,068	-0,008	-0,064	-0,027	0,001	0,005	-0,021	-0,054	0,002
33	-0,018	-0,037	-0,074	-0,084	-0,011	-0,083	-0,036	0,000	0,008	-0,027	-0,067	0,005
34	-0,024	-0,042	-0,081	-0,097	-0,012	-0,092	-0,042	0,000	0,002	-0,036	-0,083	0,000
35	-0,024	-0,044	-0,082	-0,098	-0,008	-0,099	-0,044	0,000	0,006	-0,037	-0,089	0,003
36	-0,024	-0,045	-0,083	-0,096	0,003	-0,093	-0,040	0,003	0,008	-0,034	-0,082	0,006
37	-0,021	-0,041	-0,079	-0,094	-0,007	-0,095	-0,043	-0,001	0,003	-0,037	-0,085	0,000
38	-0,019	-0,035	-0,068	-0,077	-0,006	-0,072	-0,032	0,000	0,006	-0,025	-0,061	0,000
39	-0,015	-0,026	-0,058	-0,066	-0,004	-0,044	-0,012	0,008	0,021	-0,001	-0,025	0,018
40	-0,011	-0,024	-0,054	-0,059	-0,005	-0,059	-0,028	0,000	0,002	-0,022	-0,052	-0,001
51	-0,012	-0,017	-0,024	-0,034	0,000	-0,040	-0,013	0,008	0,004	-0,014	-0,042	0,000
52	-0,013	-0,027	-0,059	-0,066	-0,004	-0,064	-0,024	0,002	0,006	-0,023	-0,053	0,004
53	-0,017	-0,028	-0,039	-0,051	0,000	-0,050	-0,016	0,012	0,011	-0,016	-0,049	0,006
54	-0,021	-0,037	-0,051	-0,067	-0,008	-0,071	-0,014	0,026	0,037	0,001	-0,040	0,029
55	-0,019	-0,038	-0,048	-0,063	0,000	-0,063	-0,019	0,021	0,016	-0,015	-0,053	0,010
56	-0,022	-0,039	-0,054	-0,069	0,010	-0,068	-0,017	0,020	0,017	-0,016	-0,058	0,017
57	-0,019	-0,032	-0,042	-0,054	0,011	-0,054	-0,014	0,020	0,021	-0,011	-0,047	0,017
58	-0,014	-0,026	-0,038	-0,046	0,006	-0,045	-0,011	0,016	0,013	-0,013	-0,046	0,003
59	-0,013	-0,023	-0,034	-0,042	0,006	-0,042	-0,011	0,013	0,008	-0,014	-0,045	-0,007
60	-0,013	-0,020	-0,033	-0,041	0,002	-0,043	-0,018	0,007	0,000	-0,021	-0,051	-0,020
61	-0,012	-0,021	-0,030	-0,039	0,005	-0,063	-0,032	-0,009	-0,008	-0,033	-0,063	-0,010
62	-0,015	-0,027	-0,041	-0,045	0,008	-0,057	-0,020	0,003	0,008	-0,016	-0,044	0,007
63	-0,016	-0,033	-0,047	-0,060	0,006	-0,077	-0,031	0,001	0,006	-0,026	-0,064	0,005
64	-0,023	-0,037	-0,054	-0,072	0,009	-0,090	-0,035	0,004	0,012	-0,028	-0,074	0,010
65	-0,026	-0,046	-0,065	-0,085	0,010	-0,104	-0,045	0,000	0,007	-0,038	-0,089	0,006
66	-0,024	-0,045	-0,064	-0,077	0,018	-0,098	-0,040	0,004	0,011	-0,034	-0,084	0,008
67	-0,023	-0,042	-0,061	-0,075	0,018	-0,099	-0,044	0,000	0,005	-0,039	-0,090	0,001
68	-0,018	-0,034	-0,047	-0,058	0,015	-0,076	-0,031	0,001	0,006	-0,028	-0,065	0,000
69	-0,014	-0,027	-0,040	-0,047	0,018	-0,049	-0,011	0,013	0,022	-0,004	-0,029	0,019
70	-0,011	-0,021	-0,029	-0,035	0,017	-0,052	-0,022	0,001	0,005	-0,019	-0,047	0,003

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 4.2b

BALKEN E1 , BETONDEHNUNG
MESSUNG MIT DEHNUNGSMESSTREIFEN L = 60MM

LASTSTUFE	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
GESAMTLAST (KN)	36.0	80.0	0.0	36.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0
MESSTELLEN-NR	DEHNUNG [0/00]									
21	-0.030	-0.051	-0.005	-0.026	-0.053	-0.058	-0.061	-0.054		
22	-0.035	-0.056	-0.009	-0.031	-0.060	-0.065	-0.069	-0.062		
23	-0.043	-0.077	-0.012	-0.042	-0.081	-0.092	-0.104	-0.131		
24	-0.032	-0.065	0.008	-0.027	-0.070	-0.077	-0.086	-0.095		
25	-0.045	-0.090	-0.004	-0.042	-0.089	-0.098	-0.109	-0.125		
26	-0.031	-0.080	0.006	-0.036	-0.081	-0.100	-0.109	-0.111		
27	-0.031	-0.071	0.013	-0.025	-0.070	-0.081	-0.087	-0.100		
28	-0.020	-0.049	0.016	-0.016	-0.050	-0.059	-0.066	-0.079		
29	-0.003	-0.030	-0.019	0.002	-0.023	-0.031	-0.032	-0.036		
30	-0.021	-0.040	0.000	-0.017	-0.038	-0.042	-0.043	-0.049		
31	-0.041	-0.071	-0.011	-0.039	-0.072	-0.078	-0.084	-0.047		
32	-0.026	-0.055	0.000	-0.024	-0.056	-0.063	-0.069	-0.066		
33	-0.031	-0.067	0.004	-0.027	-0.065	-0.075	-0.081	-0.076		
34	-0.043	-0.087	-0.001	-0.042	-0.087	-0.099	-0.108	-0.114		
35	-0.042	-0.091	0.007	-0.041	-0.089	-0.102	-0.113	-0.117		
36	-0.037	-0.085	0.005	-0.035	-0.084	-0.097	-0.106	-0.108		
37	-0.040	-0.086	0.000	-0.038	-0.079	-0.097	-0.104	-0.104		
38	-0.031	-0.044	-0.001	-0.030	-0.066	-0.076	-0.082	-0.089		
39	-0.004	-0.028	0.017	-0.004	-0.027	-0.033	-0.036	-0.039		
40	-0.026	-0.054	-0.001	-0.023	-0.048	-0.056	-0.057	-0.049		
51	-0.026	-0.050	0.000	-0.023	-0.049	-0.054	-0.057	-0.061		
52	-0.026	-0.054	0.002	-0.030	-0.057	-0.061	-0.068	-0.071		
53	-0.023	-0.053	0.007	-0.019	-0.052	-0.059	-0.063	-0.066		
54	-0.011	-0.046	0.029	-0.009	-0.011	-0.026	-0.042	-0.052		
55	-0.026	-0.048	0.008	-0.022	-0.058	-0.067	-0.072	-0.079		
56	-0.022	-0.063	0.017	-0.020	-0.061	-0.071	-0.078	-0.083		
57	-0.017	-0.050	0.017	-0.011	-0.048	-0.056	-0.059	-0.050		
58	-0.027	-0.067	-0.003	-0.030	-0.062	-0.068	-0.075	-0.086		
59	-0.035	-0.062	-0.017	-0.042	-0.073	-0.081	-0.089	-0.100		
60	-0.048	-0.069	-0.031	-0.056	-0.087	-0.095	-0.105	-0.123		
61	-0.038	-0.066	-0.004	-0.036	-0.064	-0.071	-0.075	-0.047		
62	-0.020	-0.046	0.005	-0.017	-0.043	-0.050	-0.056	-0.054		
63	-0.029	-0.065	0.005	-0.025	-0.061	-0.070	-0.075	-0.076		
64	-0.033	-0.076	0.008	-0.029	-0.072	-0.084	-0.092	-0.097		
65	-0.042	-0.093	0.004	-0.040	-0.090	-0.103	-0.112	-0.116		
66	-0.035	-0.082	0.008	-0.034	-0.083	-0.096	-0.104	-0.105		
67	-0.040	-0.090	0.002	-0.037	-0.087	-0.101	-0.107	-0.106		
68	-0.030	-0.064	0.001	-0.031	-0.067	-0.077	-0.083	-0.090		
69	-0.004	-0.030	0.020	0.001	-0.025	-0.032	-0.034	-0.035		
70	-0.019	-0.042	0.001	-0.015	-0.041	-0.047	-0.046	-0.040		

▲ 50000 Lastwechsel

TABELLE 4.3a

BALKEN E2 , BETONDEHNUNG
MESSUNG MIT DEHNUNGSMESSTREIFEN l = 60MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	9.0	18.0	27.0	36.0	0.0	18.0	40.0	0.0	0.0	35.5	78.4	0.0
MESSTELLEN-NR	DEHNUNG [0/00]											
21	-0.003	-0.009	-0.011	-0.020	0.000	-0.007	-0.019	0.001	0.000	-0.017	-0.039	0.000
22	-0.007	-0.012	-0.015	-0.026	0.005	-0.010	-0.026	0.005	0.014	-0.009	-0.034	0.013
23	-0.008	-0.017	-0.022	-0.035	0.000	-0.015	-0.037	0.001	0.021	-0.008	-0.042	0.022
24	-0.008	-0.018	-0.026	-0.038	0.000	-0.015	-0.039	0.003	0.000	-0.035	-0.074	-0.002
25	-0.010	-0.022	-0.027	-0.041	0.001	-0.018	-0.042	0.003	0.029	-0.013	-0.054	0.030
26	-0.011	-0.021	-0.031	-0.043	0.001	-0.017	-0.042	0.004	0.020	-0.010	-0.044	0.023
27	-0.009	-0.019	-0.033	-0.042	0.000	-0.017	-0.041	0.003	0.024	-0.005	-0.036	0.025
28	-0.008	-0.016	-0.028	-0.039	-0.001	-0.015	-0.035	0.002	0.004	-0.022	-0.055	0.003
29	-0.007	-0.014	-0.020	-0.033	0.000	-0.012	-0.029	0.003	0.006	-0.019	-0.050	0.004
30	-0.006	-0.011	-0.015	-0.026	-0.001	-0.009	-0.023	0.001	0.019	-0.001	-0.019	0.027
31	-0.005	-0.011	-0.019	-0.026	0.000	-0.010	-0.024	0.002	0.000	-0.023	-0.049	-0.003
32	-0.008	-0.015	-0.024	-0.035	0.000	-0.014	-0.034	0.004	0.007	-0.022	-0.056	0.004
33	-0.008	-0.018	-0.027	-0.040	-0.001	-0.017	-0.039	0.002	0.010	-0.021	-0.057	0.010
34	-0.011	-0.022	-0.034	-0.048	0.000	-0.021	-0.049	0.003	0.005	-0.038	-0.086	0.002
35	-0.010	-0.022	-0.033	-0.046	0.002	-0.019	-0.046	0.005	0.029	-0.007	-0.047	0.026
36	-0.012	-0.024	-0.038	-0.049	0.001	-0.021	-0.049	0.004	0.020	-0.020	-0.064	0.020
37	-0.010	-0.020	-0.035	-0.046	0.000	-0.019	-0.045	0.004	0.015	-0.022	-0.063	0.014
38	-0.008	-0.016	-0.030	-0.041	0.001	-0.015	-0.037	0.004	0.002	-0.030	-0.069	0.000
39	-0.007	-0.014	-0.025	-0.033	0.000	-0.012	-0.030	0.004	0.004	-0.023	-0.055	0.002
40	-0.006	-0.011	-0.020	-0.026	0.000	-0.010	-0.023	0.004	0.014	-0.004	-0.024	0.017
51	-0.006	-0.011	-0.014	-0.022	0.000	-0.009	-0.022	0.001	0.004	-0.015	-0.036	0.001
52	-0.007	-0.014	-0.020	-0.029	0.000	-0.011	-0.028	0.001	0.007	-0.014	-0.041	0.007
53	-0.009	-0.017	-0.024	-0.034	0.000	-0.015	-0.035	0.000	0.007	-0.023	-0.056	0.009
54	-0.009	-0.016	-0.027	-0.036	0.005	-0.010	-0.030	0.011	0.023	-0.002	-0.029	0.023
55	-0.012	-0.023	-0.033	-0.045	0.001	-0.019	-0.045	0.003	0.021	-0.013	-0.050	0.019
56	-0.012	-0.024	-0.037	-0.050	0.003	-0.020	-0.048	0.006	0.040	0.001	-0.036	0.045
57	-0.010	-0.020	-0.030	-0.042	0.003	-0.014	-0.038	0.007	0.034	0.002	-0.030	0.039
58	-0.008	-0.016	-0.025	-0.038	0.001	-0.015	-0.036	0.003	-0.007	-0.041	-0.078	-0.009
59	-0.005	-0.011	-0.021	-0.032	0.000	-0.011	-0.026	0.004	-0.002	-0.027	-0.059	-0.002
60	-0.006	-0.008	-0.017	-0.026	-0.001	-0.010	-0.024	0.001	0.013	-0.005	-0.023	0.016
61	-0.005	-0.011	-0.020	-0.025	0.001	-0.011	-0.025	0.003	0.002	-0.024	-0.050	-0.001
62	-0.006	-0.015	-0.020	-0.029	0.002	-0.014	-0.036	0.000	0.009	-0.022	-0.058	0.010
63	-0.009	-0.019	-0.026	-0.035	0.002	-0.016	-0.042	0.000	0.011	-0.027	-0.069	0.012
64	-0.010	-0.020	-0.029	-0.034	0.007	-0.015	-0.040	0.008	0.022	-0.016	-0.063	0.021
65	-0.011	-0.023	-0.031	-0.042	0.005	-0.019	-0.049	0.004	0.029	-0.012	-0.055	0.031
66	-0.012	-0.024	-0.035	-0.045	0.004	-0.019	-0.047	0.004	0.026	-0.013	-0.056	0.029
67	-0.010	-0.022	-0.030	-0.041	0.005	-0.017	-0.046	0.004	0.021	-0.021	-0.067	0.022
68	-0.007	-0.016	-0.026	-0.033	0.004	-0.013	-0.036	0.003	0.003	-0.032	-0.072	0.003
69	-0.007	-0.012	-0.021	-0.027	0.004	-0.010	-0.029	0.003	0.009	-0.018	-0.051	0.011
70	-0.003	-0.008	-0.014	-0.018	0.003	-0.006	-0.019	0.003	0.023	0.009	-0.006	0.025

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 4.3b

BALEFN E2 , BETONDEHNUNG
MESSUNG MIT DEHNUNGSMESSTREIFEN L = 60MM

LASTSTUFE	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GESAMTLAST (KN)	35,5	78,4	0,0	18,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	80,0	100,0	120,0
MESSTELLEN-NR	DEHNUNG [0/00]											
21	-0,020	-0,042	0,001	-0,006	-0,018	-0,021	-0,024	-0,027	-0,029	-0,038	-0,052	-0,064
22	-0,010	-0,035	0,019	0,006	-0,004	-0,008	-0,011	-0,015	-0,017	-0,031	-0,046	-0,053
23	-0,004	-0,038	0,028	0,012	-0,002	-0,006	-0,009	-0,014	-0,017	-0,031	-0,050	-0,065
24	-0,036	-0,076	0,000	-0,017	-0,036	-0,041	-0,045	-0,050	-0,054	-0,073	-0,096	-0,117
25	-0,008	-0,050	0,034	0,015	-0,002	-0,009	-0,016	-0,022	-0,027	-0,040	-0,062	-0,071
26	-0,008	-0,042	0,026	0,008	-0,007	-0,010	-0,014	-0,019	-0,023	-0,040	-0,057	-0,063
27	-0,005	-0,036	0,027	0,010	-0,006	-0,007	-0,011	-0,016	-0,018	-0,036	-0,050	-0,053
28	-0,025	-0,059	0,004	-0,009	-0,026	-0,029	-0,034	-0,039	-0,042	-0,059	-0,076	-0,088
29	-0,022	-0,053	0,006	-0,007	-0,021	-0,025	-0,029	-0,034	-0,036	-0,049	-0,067	-0,078
30	0,007	-0,011	0,034	0,022	0,012	0,011	0,008	0,005	0,004	-0,002	-0,007	0,016
31	-0,027	-0,054	-0,004	-0,016	-0,031	-0,034	-0,037	-0,041	-0,043	-0,058	-0,072	-0,082
32	-0,024	-0,060	0,002	-0,012	-0,030	-0,034	-0,038	-0,042	-0,045	-0,063	-0,081	-0,093
33	-0,020	-0,057	0,008	-0,005	-0,024	-0,028	-0,032	-0,037	-0,041	-0,057	-0,077	-0,090
34	-0,040	-0,088	0,000	-0,020	-0,045	-0,051	-0,057	-0,063	-0,068	-0,092	-0,117	-0,129
35	-0,038	-0,047	0,025	0,005	-0,013	-0,017	-0,021	-0,026	-0,030	-0,048	-0,071	-0,085
36	-0,019	-0,062	0,018	-0,003	-0,024	-0,029	-0,034	-0,040	-0,043	-0,067	-0,086	-0,097
37	-0,022	-0,064	0,012	-0,007	-0,028	-0,032	-0,038	-0,042	-0,046	-0,069	-0,088	-0,096
38	-0,033	-0,073	-0,004	-0,020	-0,041	-0,044	-0,049	-0,054	-0,058	-0,080	-0,098	-0,109
39	-0,025	-0,058	-0,001	-0,014	-0,031	-0,034	-0,040	-0,042	-0,044	-0,061	-0,076	-0,084
40	-0,003	-0,022	0,015	0,005	-0,005	-0,005	-0,008	-0,010	-0,012	-0,024	-0,031	-0,028
51	-0,018	-0,039	0,004	-0,005	-0,016	-0,018	-0,021	-0,023	-0,025	-0,033	-0,046	-0,053
52	-0,014	-0,041	0,012	0,000	-0,012	-0,013	-0,016	-0,021	-0,023	-0,037	-0,049	-0,058
53	-0,020	-0,053	0,014	0,000	-0,018	-0,021	-0,025	-0,029	-0,032	-0,047	-0,061	-0,061
54	-0,005	-0,031	0,023	0,010	0,000	-0,002	-0,007	-0,009	-0,011	-0,031	-0,042	-0,064
55	-0,015	-0,051	0,021	0,001	-0,015	-0,019	-0,023	-0,027	-0,031	-0,049	-0,066	-0,069
56	0,005	-0,030	0,050	0,029	0,010	0,006	0,001	-0,001	-0,005	-0,025	-0,040	-0,043
57	0,007	-0,027	0,043	0,027	0,010	0,008	0,003	-0,001	-0,004	-0,022	-0,034	-0,028
58	-0,043	-0,084	-0,007	-0,024	-0,044	-0,048	-0,053	-0,058	-0,062	-0,083	-0,100	-0,115
59	-0,030	-0,063	-0,001	-0,014	-0,032	-0,034	-0,039	-0,043	-0,046	-0,064	-0,081	-0,100
60	-0,004	-0,023	0,014	0,004	-0,006	-0,008	-0,010	-0,013	-0,021	-0,025	-0,031	-0,034
61	-0,028	-0,051	-0,001	-0,017	-0,030	-0,034	-0,038	-0,041	-0,053	-0,065	-0,076	-0,083
62	-0,019	-0,054	0,018	0,002	-0,014	-0,019	-0,024	-0,030	-0,034	-0,047	-0,067	-0,081
63	-0,022	-0,063	0,021	0,000	-0,018	-0,024	-0,030	-0,036	-0,041	-0,057	-0,078	-0,088
64	-0,011	-0,055	0,032	0,011	-0,009	-0,017	-0,023	-0,031	-0,037	-0,056	-0,077	-0,099
65	-0,037	-0,049	0,040	0,016	-0,003	-0,009	-0,015	-0,021	-0,026	-0,042	-0,064	-0,074
66	-0,007	-0,051	0,037	0,015	-0,005	-0,010	-0,017	-0,023	-0,028	-0,047	-0,068	-0,082
67	-0,016	-0,062	0,030	0,007	-0,014	-0,020	-0,026	-0,033	-0,038	-0,055	-0,080	-0,091
68	-0,030	-0,072	0,009	-0,008	-0,029	-0,035	-0,040	-0,046	-0,051	-0,070	-0,088	-0,099
69	-0,014	-0,050	0,017	0,001	-0,013	-0,017	-0,022	-0,027	-0,031	-0,045	-0,056	-0,060
70	0,012	-0,003	0,032	0,024	0,017	0,015	0,012	0,009	0,007	0,000	-0,007	-0,016

▲ 50000 Lastwechsel

TABELLE 4.4a

BALEN F3 , RFTONDEHNUNG

MESSUNG MIT DEHNUNGSMESSTREIFEN L = 60MM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	18.0	36.0	54.0	72.0	0.0	36.0	80.0	0.0	36.0	80.0	0.0	36.0
MESSTELLEN-NR	DEHNUNG [0/00]											
21	-0.174	-0.199	-0.232	-0.273	-0.194	-0.224	-0.292	-0.202	● -0.307	-0.364	-0.276	■ -0.419
22	-0.165	-0.200	-0.242	-0.300	-0.198	-0.236	-0.323	-0.210	-0.334	-0.405	-0.296	-0.463
23	-0.181	-0.225	-0.276	-0.347	-0.215	-0.255	-0.370	-0.226	-0.379	-0.476	-0.331	-0.547
28	-0.055	-0.224	-0.265	-0.301	-0.190	-0.232	-0.313	-0.189	-0.313	-0.366	-0.270	-0.445
29	-0.174	-0.202	-0.233	-0.277	-0.191	-0.223	-0.302	-0.199	-0.317	-0.379	-0.283	-0.439
30	-0.185	-0.194	-0.223	-0.262	-0.185	-0.214	-0.278	-0.192	-0.287	-0.342	-0.261	-0.412
31	-0.040	-0.075	-0.110	-0.154	-0.063	-0.095	-0.170	-0.071	-0.171	-0.236	-0.136	-0.239
32	-0.051	-0.095	-0.140	-0.196	-0.082	-0.121	-0.215	-0.091	-0.216	-0.294	-0.171	-0.305
33	-0.059	-0.116	-0.176	-0.252	-0.099	-0.150	-0.275	-0.111	-0.281	-0.390	-0.223	-0.419
34	-0.078	-0.141	-0.201	-0.275	-0.110	-0.174	-0.297	-0.123	-0.307	-0.412	-0.240	-0.453
35	-0.033	-0.052	-0.066	-0.081	-0.026	-0.051	-0.099	-0.027	-0.074	-0.108	-0.046	-0.081
36	-0.026	-0.039	-0.048	-0.056	-0.020	-0.035	-0.066	-0.020	-0.059	-0.084	-0.040	-0.053
37	-0.040	-0.087	-0.137	-0.194	-0.065	-0.102	-0.214	-0.072	-0.216	-0.316	-0.170	-0.378
38	0.000	-0.108	-0.160	-0.221	-0.081	-0.130	-0.240	-0.089	-0.247	-0.344	-0.193	-0.376
39	-0.045	-0.086	-0.125	-0.174	-0.063	-0.104	-0.191	-0.069	-0.188	-0.264	-0.143	-0.274
40	-0.043	-0.077	-0.110	-0.151	-0.056	-0.092	-0.166	-0.062	-0.172	-0.236	-0.134	-0.243
51	-0.025	-0.053	-0.083	-0.121	-0.036	-0.069	-0.134	-0.043	-0.138	-0.195	-0.103	-0.193
52	-0.032	-0.068	-0.105	-0.156	-0.050	-0.089	-0.176	-0.062	-0.189	-0.261	-0.147	-0.260
53	-0.044	-0.093	-0.146	-0.208	-0.070	-0.119	-0.227	-0.080	-0.237	-0.331	-0.185	-0.357
54	-0.034	-0.081	-0.132	-0.196	-0.062	-0.102	-0.214	-0.071	-0.219	-0.316	-0.172	-0.338
55	-0.013	-0.026	-0.038	-0.049	-0.004	-0.026	-0.055	-0.006	-0.046	-0.073	-0.026	-0.045
56	-0.013	-0.027	-0.037	-0.049	-0.006	-0.027	-0.059	-0.007	-0.053	-0.077	-0.029	-0.048
57	-0.040	-0.086	-0.136	-0.199	-0.060	-0.100	-0.218	-0.070	-0.218	-0.319	-0.150	-0.376
58	-0.043	-0.092	-0.139	-0.198	-0.063	-0.115	-0.218	-0.069	-0.224	-0.311	-0.168	-0.351
59	-0.029	-0.064	-0.101	-0.144	-0.041	-0.081	-0.158	-0.041	-0.155	-0.222	-0.113	-0.226
60	-0.029	-0.057	-0.090	-0.130	-0.042	-0.077	-0.148	-0.050	-0.155	-0.213	-0.118	-0.214
61	-0.025	-0.054	-0.083	-0.122	-0.036	-0.071	-0.137	-0.044	-0.145	-0.201	-0.108	-0.202
62	-0.030	-0.066	-0.101	-0.148	-0.048	-0.087	-0.166	-0.062	-0.190	-0.257	-0.150	-0.273
63	-0.039	-0.087	-0.137	-0.187	-0.063	-0.110	-0.195	-0.068	-0.196	-0.265	-0.159	-0.299
68	-0.029	-0.061	-0.092	-0.133	-0.038	-0.076	-0.147	-0.044	-0.147	-0.208	-0.108	-0.211
69	-0.003	-0.033	-0.063	-0.093	-0.017	-0.050	-0.105	-0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
70	-0.024	-0.043	-0.063	-0.087	-0.029	-0.055	-0.100	-0.035	0.000	0.000	0.000	0.000

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 4.4b

BALKEN E3 , BETONDEHNUNG
MESSUNG MIT DEHNUNGSMESSTREIFEN l = 60MM

LASTSTUFE	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GESAMTLAST (KN)	80.0	0.0	0.0	36.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DEHNUNG (0/00)											
21	-0.467	-0.426▲	-0.390	-0.422	-0.480	-0.502	-0.520	-0.536	-0.552	-0.567	-0.579	-0.589
22	-0.521	-0.459	-0.424	-0.464	-0.537	-0.566	-0.587	-0.608	-0.627	-0.646	-0.664	-0.682
23	-0.622	-0.526	-0.478	-0.527	-0.624	-0.662	-0.692	-0.722	-0.747	-0.774	-0.798	-0.821
28	-0.504	-0.431	-0.390	-0.434	-0.512	-0.544	-0.570	-0.597	-0.617	-0.641	-0.661	-0.680
29	-0.490	-0.440	-0.414	-0.449	-0.511	-0.536	-0.553	-0.573	-0.589	-0.605	-0.613	-0.603
30	-0.456	-0.419	-0.392	-0.423	-0.480	-0.503	-0.521	-0.537	-0.551	-0.568	-0.584	-0.606
31	-0.293	-0.210	-0.197	-0.249	-0.318	-0.343	-0.363	-0.384	-0.403	-0.423	-0.440	-0.459
32	-0.369	-0.265	-0.265	-0.311	-0.395	-0.426	-0.452	-0.477	-0.502	-0.528	-0.551	-0.590
33	-0.505	-0.355	-0.355	-0.415	-0.532	-0.578	-0.615	-0.653	-0.689	-0.728	-0.762	-0.797
34	-0.536	-0.383	-0.375	-0.441	-0.555	-0.603	-0.640	-0.678	-0.711	-0.747	-0.777	-0.808
35	-0.112	-0.071	-0.067	-0.095	-0.128	-0.139	-0.146	-0.152	-0.158	-0.165	-0.168	-0.172
36	-0.077	-0.053	-0.054	-0.075	-0.098	-0.104	-0.107	-0.111	-0.115	-0.119	-0.120	-0.122
37	-0.460	-0.323	-0.328	-0.379	-0.493	-0.539	-0.575	-0.614	-0.647	-0.682	-0.711	-0.742
38	-0.451	-0.320	-0.324	-0.381	-0.480	-0.520	-0.550	-0.584	-0.614	-0.649	-0.678	-0.708
39	-0.337	-0.234	-0.239	-0.285	-0.367	-0.396	-0.421	-0.446	-0.467	-0.492	-0.509	-0.524
40	-0.292	-0.209	-0.221	-0.257	-0.323	-0.347	-0.367	-0.387	-0.401	-0.423	-0.436	-0.456
51	-0.238	-0.147	-0.160	-0.196	-0.259	-0.280	-0.297	-0.315	-0.332	-0.348	-0.363	-0.376
52	-0.313	-0.203	-0.219	-0.263	-0.340	-0.368	-0.388	-0.413	-0.432	-0.454	-0.474	-0.492
53	-0.428	-0.283	-0.301	-0.354	-0.456	-0.495	-0.526	-0.559	-0.588	-0.621	-0.650	-0.679
54	-0.412	-0.266	-0.273	-0.325	-0.432	-0.475	-0.508	-0.545	-0.576	-0.608	-0.633	-0.655
55	-0.067	-0.022	-0.030	-0.052	-0.079	-0.085	-0.088	-0.094	-0.099	-0.103	-0.105	-0.105
56	-0.067	-0.021	-0.031	-0.053	-0.081	-0.087	-0.092	-0.098	-0.101	-0.109	-0.113	-0.113
57	-0.450	-0.322	-0.326	-0.380	-0.499	-0.540	-0.578	-0.618	-0.644	-0.688	-0.712	-0.743
58	-0.416	-0.274	-0.291	-0.344	-0.443	-0.478	-0.509	-0.541	-0.568	-0.601	-0.627	-0.651
59	-0.277	-0.170	-0.184	-0.226	-0.298	-0.322	-0.344	-0.367	-0.384	-0.405	-0.420	-0.433
60	-0.258	-0.166	-0.182	-0.220	-0.282	-0.303	-0.320	-0.339	-0.353	-0.370	-0.383	-0.395
61	-0.245	-0.153	-0.165	-0.204	-0.266	-0.285	-0.303	-0.319	-0.338	-0.358	-0.376	-0.392
62	-0.323	-0.220	-0.239	-0.281	-0.352	-0.376	-0.396	-0.419	-0.438	-0.460	-0.482	-0.506
63	-0.344	-0.245	-0.260	-0.298	-0.370	-0.397	-0.420	-0.444	-0.461	-0.478	-0.490	-0.488
68	-0.260	-0.158	-0.168	-0.209	-0.278	-0.305	-0.326	-0.349	-0.363	-0.381	-0.396	-0.408
69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

▲ 50000 Lastwechsel

TABELLE 4.4c

BALKEN E3 , BETONDEHNUNG
MESSUNG MIT DEHNUNGSMESSTREIFEN L = 60MM

LASTSTUFE	25	26	27	28	29
GESAMTLAST [KN]	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0
MESSTELLEN-NR	DEHNUNG [0/00]				
21	-0.603	-0.619	-0.638	-0.656	-0.669
22	-0.705	-0.732	-0.760	-0.787	-0.810
23	-0.848	-0.883	-0.923	-0.970	-1.013
28	-0.708	-0.755	-0.811	-0.882	-1.006
29	-0.590	-0.574	-0.535	-0.490	-0.267
30	-0.633	-0.664	-0.700	-0.738	-0.736
31	-0.477	-0.495	-0.516	-0.536	-0.551
32	-0.607	-0.624	-0.641	-0.662	-0.744
33	-0.853	-0.869	-0.909	-0.958	-1.004
34	-0.837	-0.863	-0.890	-0.922	-0.943
35	-0.176	-0.178	-0.181	-0.183	-0.178
36	-0.125	-0.123	-0.120	-0.117	-0.109
37	-0.772	-0.799	-0.829	-0.867	-0.883
38	-0.738	-0.771	-0.807	-0.848	-0.842
39	-0.538	-0.554	-0.569	-0.586	-0.624
40	-0.475	-0.493	-0.512	-0.529	-0.554
51	-0.392	-0.410	-0.428	-0.449	-0.465
52	-0.516	-0.538	-0.565	-0.592	-0.616
53	-0.711	-0.748	-0.793	-0.849	-0.902
54	-0.678	-0.699	-0.720	-0.744	-0.759
55	-0.105	-0.104	-0.103	-0.099	-0.088
56	-0.118	-0.119	-0.121	-0.123	-0.116
57	-0.777	-0.801	-0.834	-0.870	-0.883
58	-0.679	-0.702	-0.733	-0.770	-0.770
59	-0.450	-0.461	-0.477	-0.492	-0.509
60	-0.413	-0.427	-0.448	-0.469	-0.514
61	-0.408	-0.424	-0.440	-0.436	-0.421
62	-0.535	-0.563	-0.592	-0.629	-0.666
63	-0.472	-0.441	-0.385	-0.364	-0.309
68	-0.423	-0.433	-0.449	-0.467	-0.544
69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

TABELLE 4.5

BALKEN E0 , LÄNGENÄNDERUNG
MESSUNG MIT STÜTZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3
GESAMTLAST (KN)	28.6	71.5	114.4
MESSTELLEN-NR	DELTA L (MM)		
1	0.000	0.031	0.046
2	0.003	0.002	0.019
3	0.013	0.055	0.084
4	0.013	0.035	0.054
5	0.007	0.029	0.057
6	0.012	0.047	0.067
7	0.007	0.035	0.058
8	0.012	0.058	0.087
9	0.015	0.045	0.036
10	0.004	0.016	0.034
11	-0.002	0.015	0.029
12	0.006	0.011	0.015
13	0.009	0.029	0.029
14	0.007	0.032	0.073
15	-0.001	0.022	0.027
16	0.006	0.036	0.061
17	0.004	0.026	0.049
18	0.005	0.027	0.041
19	0.006	0.020	0.022
20	0.003	0.012	0.024
41	-0.006	-0.011	-0.023
42	-0.006	-0.014	-0.025
43	-0.009	-0.019	-0.039
44	-0.012	-0.027	-0.050
45	-0.014	-0.032	-0.060
46	-0.010	-0.027	-0.057
47	-0.012	-0.029	-0.046
48	-0.007	-0.020	-0.038
49	-0.006	-0.016	-0.033
50	-0.010	-0.016	-0.053
71	0.003	0.016	0.032
72	0.005	0.012	0.026
73	0.004	0.027	0.038
74	0.007	0.036	0.077
75	0.005	0.019	0.026
76	0.003	0.023	0.041
77	0.005	0.027	0.045
78	0.009	0.027	0.052
79	0.007	0.021	0.027
80	-0.001	0.015	0.036
81	0.005	0.017	0.032
82	0.007	0.021	0.041
83	0.009	0.052	0.096
84	0.007	0.037	0.064
85	0.013	0.035	0.068
86	0.002	0.004	0.008
87	0.016	0.036	0.062
88	0.012	0.051	0.094
89	0.009	0.026	0.043
90	0.007	0.019	0.042

TABELLE 4.6a

BALKEN E1 , LAENGENAFENDERUNG
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	18.0	36.0	54.0	72.0	90.0	108.0	126.0	144.0	162.0	180.0	200.0	220.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.003	0.013	0.022	0.032	0.008	0.037	0.026	0.016	0.017	0.016	0.045	0.018
2	0.007	0.012	0.018	0.025	0.002	0.031	0.021	0.010	0.010	0.019	0.037	0.011
3	-0.004	0.006	0.009	0.016	-0.004	0.016	0.009	0.004	0.001	0.010	0.024	0.000
4	0.003	0.025	0.038	0.050	0.010	0.057	0.035	0.012	0.019	0.037	0.067	0.019
5	0.002	0.016	0.021	0.028	-0.002	0.028	0.018	0.002	-0.002	0.006	0.031	0.000
6	0.008	0.031	0.034	0.046	0.009	0.049	0.033	0.008	0.010	0.005	0.053	0.010
7	0.004	0.012	0.022	0.037	0.003	0.043	0.028	0.012	0.011	0.010	0.049	0.007
8	0.004	0.021	0.032	0.050	0.014	0.058	0.004	0.020	0.018	0.025	0.073	0.024
9	0.002	0.015	0.019	0.026	0.002	0.027	0.020	0.004	0.005	0.008	0.028	0.005
10	-0.001	0.013	0.013	0.022	0.010	0.028	0.027	0.015	0.018	0.015	0.034	0.010
11	0.003	0.009	0.008	0.016	0.004	0.027	0.024	0.014	0.014	0.019	0.033	0.017
12	0.001	0.012	0.011	0.022	0.005	0.023	0.018	0.010	0.008	0.017	0.031	0.011
13	0.001	0.009	0.011	0.016	0.003	0.026	0.020	0.009	0.008	0.017	0.031	0.010
14	0.004	0.009	0.017	0.026	0.002	0.026	0.018	0.007	0.009	0.016	0.037	0.016
15	0.002	0.013	0.023	0.029	0.002	0.033	0.021	0.008	0.003	0.017	0.033	0.005
16	0.006	0.022	0.029	0.047	0.001	0.058	0.041	0.020	0.021	0.034	0.056	0.024
17	0.000	0.008	0.003	0.012	0.002	0.013	0.005	-0.001	-0.001	-0.024	0.017	-0.004
18	0.003	0.018	0.023	0.048	0.024	0.048	0.036	0.037	0.046	0.036	0.062	0.030
19	0.003	0.008	0.011	0.014	0.006	0.017	0.016	0.008	0.006	0.009	0.021	0.005
20	-0.007	-0.005	-0.005	0.001	0.005	0.004	0.003	-0.002	-0.006	-0.003	0.010	-0.004
41	-0.005	-0.007	-0.011	-0.015	-0.001	-0.015	0.002	0.005	0.004	-0.005	-0.008	0.006
42	-0.005	-0.006	-0.013	-0.018	0.003	-0.020	-0.003	0.003	0.002	-0.006	-0.013	0.006
43	-0.002	-0.007	-0.015	-0.021	0.000	-0.026	-0.007	0.002	0.001	-0.010	-0.020	0.006
44	-0.008	-0.014	-0.023	-0.029	-0.004	-0.030	-0.010	0.001	-0.001	-0.013	-0.024	0.003
45	-0.009	-0.015	-0.023	-0.029	-0.003	-0.032	-0.012	0.002	0.000	-0.015	-0.029	0.003
46	-0.010	-0.012	-0.024	-0.032	-0.003	-0.036	-0.013	0.001	0.001	-0.017	-0.032	-0.001
47	-0.005	-0.010	-0.017	-0.022	0.001	-0.026	-0.007	0.002	0.004	-0.010	-0.022	0.006
48	-0.008	-0.012	-0.019	-0.023	-0.003	-0.026	-0.009	0.000	-0.001	-0.013	-0.024	0.003
49	-0.005	-0.007	-0.013	-0.018	0.001	-0.021	-0.005	0.002	0.001	-0.010	-0.018	0.005
50	-0.004	-0.008	-0.011	-0.013	0.000	-0.014	-0.001	0.004	0.004	-0.003	-0.009	0.006
71	0.014	0.012	0.015	0.023	0.014	0.032	0.030	0.016	0.021	0.028	0.042	0.022
72	0.003	0.006	0.010	0.017	0.005	0.016	0.014	0.004	0.005	0.010	0.020	0.005
73	0.002	0.009	0.013	0.016	0.002	0.019	0.012	0.004	0.004	0.010	0.027	0.007
74	0.008	0.019	0.026	0.034	0.014	0.039	0.033	0.018	0.020	0.032	0.045	0.023
75	0.002	0.018	0.027	0.035	0.004	0.034	0.023	0.006	0.006	0.020	0.037	0.007
76	0.001	0.009	0.019	0.029	-0.003	0.031	0.020	0.005	0.005	0.015	0.034	0.006
77	0.000	0.008	0.011	0.019	-0.001	0.022	0.014	0.003	0.003	0.015	0.029	0.010
78	0.000	0.007	0.017	0.027	0.003	0.030	0.022	0.010	0.009	0.016	0.030	0.009
79	0.000	0.010	0.010	0.015	0.002	0.018	0.013	0.009	0.007	0.013	0.023	0.010
80	-0.002	0.002	0.005	0.014	0.000	0.020	0.014	0.010	0.013	0.019	0.032	0.015
81	0.003	0.016	0.020	0.027	0.009	0.036	0.026	0.018	0.016	0.035	0.038	0.015
82	0.001	0.006	0.012	0.017	-0.001	0.024	0.013	0.003	0.001	0.008	0.039	0.004
83	0.001	0.011	0.016	0.023	0.001	0.026	0.017	0.004	0.000	0.012	0.039	0.004
84	0.007	0.022	0.034	0.049	0.014	0.062	0.039	0.019	0.020	0.041	0.071	0.026
85	0.004	0.017	0.019	0.031	-0.002	0.028	0.017	0.006	0.003	0.013	0.038	0.004
86	0.000	0.005	0.013	0.016	0.004	0.027	0.010	-0.005	-0.005	0.014	0.032	-0.001
87	0.001	0.010	0.028	0.031	-0.003	0.044	0.027	0.000	0.001	0.024	0.054	0.003
88	0.003	0.010	0.033	0.046	0.011	0.063	0.040	0.015	0.020	0.039	0.069	0.021
89	0.002	0.008	0.009	0.010	-0.002	0.017	0.007	0.000	-0.003	0.006	0.016	0.002
90	0.003	0.012	0.018	0.028	0.010	0.039	0.027	0.013	0.012	0.025	0.042	0.019

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 4.6b

BALKEN E1 , LAENGFNAEHNDRUNG

MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
GESAMTLAST (KN)	36.0	80.0	0.0	36.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L (MM)									
1	0.036	0.048	0.022	0.033	0.049	0.051	0.057	0.061		
2	0.024	0.037	0.013	0.022	0.039	0.038	0.045	0.048		
3	0.015	0.024	0.004	0.012	0.025	0.025	0.031	0.037		
4	0.052	0.070	0.020	0.042	0.069	0.075	0.082	0.092		
5	0.020	0.036	0.003	0.015	0.034	0.037	0.044	0.046		
6	0.032	0.054	0.012	0.029	0.054	0.056	0.059	0.067		
7	0.031	0.053	0.016	0.030	0.054	0.053	0.061	0.069		
8	0.050	0.073	0.031	0.050	0.076	0.080	0.086	0.095		
9	0.020	0.034	0.009	0.018	0.029	0.031	0.035	0.040		
10	0.025	0.039	0.019	0.032	0.043	0.040	0.044	0.052		
11	0.029	0.040	0.020	0.027	0.038	0.038	0.042	0.035		
12	0.022	0.031	0.014	0.022	0.033	0.030	0.036	0.040		
13	0.027	0.037	0.013	0.023	0.038	0.038	0.044	0.047		
14	0.024	0.038	0.016	0.022	0.040	0.040	0.046	0.051		
15	0.021	0.035	0.007	0.019	0.035	0.036	0.039	0.034		
16	0.045	0.066	0.027	0.043	0.069	0.070	0.073	0.040		
17	0.011	0.013	0.008	0.010	0.016	0.015	0.017	0.022		
18	0.044	0.068	0.036	0.045	0.064	0.066	0.063	0.068		
19	0.014	0.021	0.007	0.012	0.018	0.021	0.021	0.031		
20	0.002	0.012	0.000	0.004	0.008	0.009	0.009	0.014		
41	0.004	-0.002	0.008	0.001	-0.008	-0.006	-0.010	-0.011		
42	0.001	-0.008	0.010	0.001	-0.012	-0.015	-0.017	-0.014		
43	0.001	-0.013	0.008	-0.002	-0.018	-0.023	-0.022	-0.026		
44	-0.009	-0.021	0.005	-0.008	-0.024	-0.029	-0.032	-0.035		
45	-0.012	-0.026	0.005	-0.011	-0.030	-0.038	-0.040	-0.043		
46	-0.015	-0.028	0.002	-0.013	-0.032	-0.039	-0.043	-0.046		
47	-0.005	-0.018	0.010	-0.005	-0.020	-0.025	-0.029	-0.032		
48	-0.007	-0.018	0.007	-0.005	-0.018	-0.025	-0.027	-0.029		
49	-0.005	-0.014	0.008	-0.004	-0.016	-0.019	-0.023	-0.024		
50	0.001	-0.006	0.007	0.001	-0.008	-0.014	-0.015	-0.016		
71	0.032	0.044	0.022	0.037	0.046	0.043	0.048	0.050		
72	0.014	0.024	0.008	0.015	0.021	0.021	0.026	0.030		
73	0.017	0.028	0.006	0.015	0.024	0.028	0.029	0.034		
74	0.034	0.055	0.020	0.036	0.049	0.051	0.056	0.064		
75	0.023	0.036	0.005	0.031	0.034	0.036	0.039	0.041		
76	0.022	0.046	0.008	0.021	0.037	0.038	0.043	0.048		
77	0.019	0.035	0.012	0.022	0.034	0.034	0.038	0.042		
78	0.021	0.025	0.016	0.020	0.031	0.032	0.034	0.038		
79	0.018	0.027	0.012	0.020	0.027	0.024	0.029	0.029		
80	0.027	0.037	0.018	0.024	0.025	0.034	0.035	0.044		
81	0.030	0.043	0.021	0.030	0.041	0.040	0.044	0.053		
82	0.017	0.032	0.009	0.016	0.031	0.031	0.035	0.053		
83	0.019	0.032	0.008	0.017	0.030	0.033	0.034	0.040		
84	0.045	0.075	0.027	0.047	0.071	0.076	0.080	0.089		
85	0.020	0.041	0.007	0.018	0.035	0.037	0.044	0.049		
86	0.090	0.119	0.069	0.092	0.115	0.125	0.125	0.133		
87	-0.085	-0.024	-0.060	-0.047	-0.028	-0.025	-0.020	-0.012		
88	0.046	0.072	0.025	0.043	0.071	0.074	0.080	0.091		
89	0.011	0.017	0.005	0.009	0.016	0.013	0.019	0.020		
90	0.035	0.047	0.023	0.026	0.046	0.044	0.049	0.056		

▲ 50000 Lastwechsel

TABELLE 4.7a

BALKEN E2 , LAENGENAENDERUNG
MESSUNG MIT SETZDREHNUNSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	9.0	18.0	27.0	36.0	0.0	18.0	40.0	0.0	0.0	35.5	78.4	0.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.002	0.001	0.004	0.009	0.008	0.005	0.013	0.000	0.013	0.028	0.041	0.015
2	0.000	0.002	0.002	0.004	0.000	-0.002	0.003	-0.008	0.001	0.008	0.012	0.001
3	0.003	0.009	0.015	0.025	0.011	0.015	0.026	0.007	0.022	0.044	0.069	0.043
4	0.000	0.001	0.002	0.011	-0.003	0.002	0.012	-0.004	0.002	0.015	0.028	-0.002
5	0.005	0.010	0.013	0.023	0.005	0.014	0.023	0.002	0.013	0.039	0.062	0.015
6	0.007	0.008	0.012	0.019	0.002	0.009	0.021	0.006	0.007	0.026	0.045	0.007
7	0.002	0.005	0.006	0.013	0.004	0.008	0.020	0.002	0.018	0.037	0.059	0.017
8	0.004	0.005	0.007	0.010	0.002	0.002	0.011	-0.001	0.009	0.021	0.033	0.008
9	0.002	0.004	0.004	0.008	0.003	0.003	0.009	-0.001	0.003	0.011	0.022	0.003
10	0.002	0.002	0.002	0.008	0.000	0.002	0.008	0.000	0.004	0.012	0.020	0.004
11	0.008	0.010	0.010	0.018	0.012	0.012	0.014	0.010	0.006	0.013	0.015	0.009
12	-0.002	-0.001	0.000	0.006	0.000	0.000	0.003	0.000	0.007	0.018	0.026	0.007
13	0.002	0.003	0.002	0.004	-0.017	-0.006	-0.004	-0.009	-0.009	0.002	0.007	-0.007
14	0.026	0.036	0.041	0.042	0.021	0.027	0.031	0.018	0.045	0.058	0.064	0.038
15	0.007	0.009	0.010	0.013	0.003	0.006	0.009	-0.002	0.002	0.013	0.023	-0.001
16	0.003	0.006	0.009	0.019	0.007	0.010	0.022	0.011	0.021	0.033	0.049	0.016
17	0.000	0.008	0.005	0.010	0.002	0.003	0.007	-0.003	0.000	0.014	0.020	0.000
18	0.006	0.003	0.005	0.012	0.002	0.004	0.005	0.000	0.010	0.020	0.029	0.011
19	0.003	0.003	0.002	0.008	0.002	0.003	0.003	0.000	0.002	0.008	0.019	0.002
20	0.003	0.000	0.001	0.007	0.002	0.004	0.010	0.005	0.009	0.015	0.021	0.008
41	0.004	-0.003	-0.004	-0.003	0.000	-0.001	-0.003	-0.002	0.003	-0.010	-0.014	-0.003
42	0.001	-0.005	-0.007	-0.001	-0.005	-0.009	-0.006	-0.001	-0.004	-0.009	-0.020	-0.005
43	0.002	-0.004	-0.005	0.000	-0.008	-0.011	-0.001	-0.003	-0.008	-0.011	-0.019	-0.001
44	-0.001	-0.004	-0.008	-0.008	-0.002	-0.005	-0.017	-0.002	0.001	-0.008	-0.025	0.001
45	-0.002	-0.008	-0.014	-0.014	0.000	-0.007	-0.019	-0.003	-0.002	-0.020	-0.036	-0.006
46	-0.004	-0.012	-0.016	-0.015	-0.004	-0.013	-0.019	-0.004	-0.005	-0.020	-0.040	-0.009
47	-0.001	-0.008	-0.013	-0.013	-0.001	-0.008	-0.016	-0.007	0.000	-0.011	-0.025	-0.001
48	-0.002	-0.006	-0.013	-0.010	-0.004	-0.008	-0.015	-0.004	0.000	-0.010	-0.025	-0.003
49	0.003	-0.006	-0.009	-0.004	0.006	-0.003	-0.008	0.004	0.003	-0.004	-0.001	-0.009
50	-0.008	0.000	-0.018	-0.012	-0.008	-0.012	-0.007	0.002	-0.009	-0.014	-0.019	-0.016
71	0.007	0.006	0.018	0.013	0.006	-0.013	0.008	-0.003	0.008	0.015	0.022	0.006
72	0.001	0.000	0.001	0.011	0.000	0.004	0.006	-0.005	0.003	0.012	0.020	0.005
73	0.004	-0.001	0.002	0.008	-0.001	0.003	0.006	-0.003	0.001	0.008	0.016	0.000
74	0.000	0.000	0.003	0.019	0.002	0.003	0.008	-0.003	0.012	0.026	0.042	0.011
75	0.004	-0.002	0.004	0.013	-0.004	-0.001	0.007	-0.006	-0.005	0.000	0.035	0.000
76	0.007	0.003	0.009	0.015	0.003	0.007	0.011	0.003	0.009	0.024	0.039	0.012
77	0.003	0.003	0.007	0.011	0.001	0.004	0.010	-0.001	0.008	0.021	0.033	0.008
78	0.004	0.003	0.001	0.014	0.001	0.001	0.005	0.000	0.008	0.016	0.026	0.004
79	0.004	0.000	0.004	0.014	0.000	0.001	0.005	0.000	0.002	0.012	0.014	0.002
80	0.006	0.001	0.006	0.010	0.002	0.003	0.007	-0.001	0.007	0.017	0.020	0.008
81	0.000	0.007	0.000	0.066	0.003	0.013	0.011	-0.001	0.015	0.026	0.042	0.015
82	0.004	0.005	0.001	0.011	0.001	0.005	0.010	0.002	0.003	0.015	0.027	0.001
83	0.000	-0.001	0.004	0.013	0.002	0.007	0.010	0.003	0.017	0.030	0.052	0.013
84	0.004	0.009	0.012	0.020	0.006	0.011	0.020	0.007	0.008	0.028	0.044	0.005
85	0.005	0.011	0.011	0.026	0.005	0.008	0.025	0.006	0.007	0.021	0.053	0.004
86	0.004	0.011	0.009	0.009	0.005	-0.002	0.010	-0.004	-0.002	0.023	0.048	0.008
87	0.004	0.007	0.014	0.025	0.006	0.013	0.023	0.007	0.009	0.039	0.065	0.019
88	0.001	0.005	0.004	0.012	-0.001	0.008	0.019	0.000	0.001	0.025	0.038	0.009
89	0.008	0.003	0.000	0.008	-0.002	-0.001	0.005	-0.001	0.002	0.016	0.015	0.000
90	0.005	0.003	0.003	0.015	0.004	0.006	0.008	0.005	0.013	0.027	0.031	0.012

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 4.7b

HALKEN F2 , LÄNGENAFLEHRUNG
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GESAMTLAST (KN)	35.5	78.4	0.0	18.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	80.0	100.0	120.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L (MM)											
1	0.026	0.052	0.010	0.020	0.030	0.036	0.034	0.041	0.040	0.048	0.056	0.068
2	0.004	0.017	-0.004	0.003	0.005	0.009	0.008	0.013	0.011	0.014	0.020	0.024
3	0.043	0.075	0.022	0.032	0.047	0.054	0.054	0.060	0.061	0.074	0.087	0.103
4	0.011	0.029	-0.001	0.005	0.013	0.018	0.017	0.020	0.019	0.029	0.035	0.043
5	0.033	0.063	0.013	0.021	0.037	0.044	0.045	0.045	0.046	0.059	0.074	0.086
6	0.022	0.147	0.006	0.016	0.025	0.030	0.029	0.035	0.034	0.046	0.057	0.067
7	0.034	0.059	0.018	0.027	0.037	0.044	0.045	0.050	0.048	0.061	0.073	0.084
8	0.016	0.032	0.007	0.013	0.018	0.025	0.021	0.025	0.024	0.033	0.041	0.046
9	0.009	0.021	0.002	0.006	0.009	0.015	0.016	0.025	0.016	0.023	0.029	0.036
10	0.010	0.021	0.004	0.008	0.011	0.014	0.014	0.020	0.014	0.022	0.028	0.034
11	0.011	0.014	0.009	0.006	0.010	0.066	0.014	0.013	0.014	0.016	0.011	0.023
12	0.012	0.027	0.008	0.009	0.019	0.006	0.006	0.025	0.024	0.028	0.034	0.039
13	0.000	0.005	-0.004	-0.006	0.001	0.001	0.005	0.008	0.003	0.010	0.015	0.017
14	0.060	0.069	0.036	0.053	0.057	0.066	0.064	0.076	0.076	0.078	0.087	0.099
15	0.010	0.024	0.002	0.009	0.011	0.015	0.012	0.018	0.007	0.018	0.028	0.033
16	0.030	0.050	0.016	0.024	0.031	0.036	0.041	0.041	0.039	0.049	0.057	0.063
17	0.012	0.021	0.003	0.004	0.009	0.014	0.012	0.016	0.013	0.019	0.026	0.034
18	0.018	0.029	0.010	0.015	0.008	0.021	0.022	0.025	0.020	0.033	0.036	0.042
19	0.006	0.015	0.002	0.005	0.006	0.009	0.013	0.012	0.011	0.016	0.020	0.023
20	0.017	0.021	0.009	0.013	0.015	0.017	0.016	0.018	0.018	0.023	0.028	0.034
41	-0.007	-0.015	0.000	-0.005	-0.012	-0.004	-0.011	-0.011	-0.014	-0.018	-0.019	-0.021
42	-0.011	-0.029	0.003	-0.007	-0.013	-0.012	-0.014	-0.014	-0.016	-0.019	-0.025	-0.028
43	-0.008	-0.025	0.001	-0.007	-0.015	-0.016	-0.018	-0.019	-0.021	-0.025	-0.031	-0.040
44	-0.014	-0.027	0.002	-0.006	-0.014	-0.013	-0.016	-0.016	-0.023	-0.026	-0.032	-0.042
45	-0.020	-0.035	0.000	-0.009	-0.022	-0.021	-0.024	-0.023	-0.029	-0.035	-0.043	-0.052
46	-0.022	-0.041	-0.008	-0.013	-0.030	-0.025	-0.026	-0.029	-0.033	-0.039	-0.046	-0.060
47	-0.013	-0.026	-0.005	-0.012	-0.019	-0.015	-0.018	-0.018	-0.022	-0.027	-0.031	-0.041
48	-0.014	-0.025	-0.008	-0.010	-0.020	-0.015	-0.018	-0.020	-0.022	-0.024	-0.029	-0.040
49	-0.007	-0.015	0.010	-0.007	-0.012	-0.006	-0.040	-0.004	-0.013	-0.013	-0.018	-0.024
50	-0.002	-0.014	-0.011	-0.011	-0.010	-0.005	-0.010	-0.017	-0.004	-0.018	-0.020	-0.026
71	-0.030	-0.008	-0.030	-0.039	-0.002	-0.001	-0.001	0.017	-0.001	0.023	0.004	0.012
72	0.009	0.017	0.003	0.007	0.010	0.014	0.015	0.018	0.018	0.022	0.027	0.035
73	0.007	0.012	0.000	0.001	0.006	0.029	0.012	0.017	0.014	0.018	0.019	0.024
74	0.024	0.030	0.015	0.022	0.024	0.028	0.034	0.040	0.039	0.048	0.056	0.064
75	0.007	0.026	0.002	0.012	0.020	0.017	0.026	0.035	0.032	0.040	0.050	0.064
76	0.021	0.040	0.014	0.017	0.022	0.029	0.031	0.034	0.031	0.041	0.047	0.059
77	0.019	0.036	0.009	0.017	0.019	0.026	0.026	0.029	0.029	0.036	0.045	0.052
78	0.008	0.025	0.005	0.007	0.013	0.020	0.020	0.019	0.020	0.025	0.032	0.036
79	0.008	0.019	0.002	0.007	0.009	0.017	0.012	0.014	0.012	0.018	0.023	0.027
80	0.012	0.023	0.008	0.011	0.014	0.020	0.017	0.020	0.018	0.024	0.025	0.034
81	0.029	0.040	0.015	0.029	0.038	0.038	0.035	0.046	0.038	0.047	0.047	0.057
82	0.011	0.023	0.004	0.008	0.012	0.016	0.019	0.023	0.022	0.027	0.034	0.046
83	0.034	0.051	0.016	0.022	0.034	0.039	0.042	0.048	0.046	0.056	0.068	0.082
84	0.021	0.039	0.008	0.029	0.023	0.027	0.032	0.033	0.036	0.046	0.056	0.065
85	0.024	0.048	0.011	0.020	0.042	0.038	0.048	0.058	0.052	0.060	0.068	0.089
86	0.023	0.045	0.010	0.014	0.020	0.028	0.035	0.029	0.029	0.048	0.051	0.069
87	0.038	0.068	0.022	0.030	0.041	0.049	0.050	0.055	0.054	0.070	0.082	0.097
88	0.024	0.046	0.012	0.017	0.023	0.033	0.031	0.030	0.029	0.033	0.053	0.063
89	0.006	0.015	-0.004	0.001	0.003	0.011	0.014	0.013	0.013	0.018	0.020	0.024
90	0.020	0.032	0.017	0.016	0.017	0.028	0.031	0.030	0.030	0.037	0.043	0.051

TABELLE 4.8a

HALKEN E3 , LAENGENAENDERUNG
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST (KN)	18.0	36.0	54.0	72.0	90.0	108.0	126.0	144.0	162.0	180.0	200.0	220.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]											
1	0.001	0.001	0.007	0.019	0.005	0.008	0.016	0.003	0.009	0.023	0.003	0.010
2	0.004	0.007	0.016	0.030	0.010	0.016	0.027	-0.022	0.019	0.035	0.008	0.017
3	0.013	0.022	0.037	0.056	0.022	0.035	0.060	0.022	0.043	0.069	0.024	0.047
4	0.008	0.015	0.020	0.028	-0.003	0.016	0.024	0.005	0.020	0.035	0.008	0.016
7	0.004	0.002	0.013	0.023	0.003	0.009	0.019	0.001	0.007	0.025	0.001	0.012
8	-0.004	0.004	0.028	0.039	0.007	0.023	0.048	0.016	0.026	0.056	0.006	0.041
9	0.000	0.007	0.008	0.016	-0.004	0.008	0.022	-0.002	0.009	0.026	-0.002	0.006
10	0.001	-0.003	0.007	0.019	-0.001	0.007	0.013	-0.002	0.010	0.025	0.000	0.011
11	0.002	-0.002	0.003	0.012	0.001	0.004	0.007	0.000	0.006	0.013	0.001	0.004
12	-0.001	-0.001	0.005	0.014	0.003	0.005	0.009	0.005	0.003	0.013	-0.002	0.001
13	0.008	0.007	0.018	0.030	0.010	0.018	0.026	0.009	0.019	0.034	0.010	0.016
14	0.006	0.005	0.012	0.020	0.002	0.010	0.016	0.001	0.004	0.017	0.000	0.000
17	0.009	-0.003	0.014	0.002	-0.001	0.005	0.011	0.001	0.008	0.019	-0.001	0.008
18	0.004	0.006	0.016	0.028	0.006	0.010	0.028	0.002	0.014	0.032	0.004	0.015
19	0.001	0.001	0.003	0.011	0.000	0.004	0.013	0.004	0.011	0.021	0.003	0.007
20	0.003	0.002	0.008	0.021	0.009	0.012	0.020	0.006	0.014	0.024	0.008	0.012
41	-0.002	-0.012	-0.034	-0.017	-0.002	-0.014	-0.030	-0.006	-0.026	-0.034	-0.015	-0.038
42	-0.004	-0.018	-0.046	-0.030	-0.004	-0.018	-0.042	-0.009	-0.030	-0.044	-0.019	-0.046
43	-0.005	-0.019	-0.028	-0.034	-0.006	-0.026	-0.049	-0.004	-0.039	-0.056	-0.026	-0.060
44	-0.009	-0.022	-0.032	-0.038	-0.009	-0.024	-0.052	-0.010	-0.044	-0.064	-0.030	-0.064
45	-0.009	-0.028	-0.028	-0.035	-0.005	-0.022	-0.049	-0.005	-0.033	-0.059	-0.021	-0.053
46	-0.009	-0.022	-0.026	-0.034	-0.005	-0.024	-0.051	-0.007	-0.034	-0.054	-0.020	-0.060
47	-0.013	-0.024	-0.030	-0.039	-0.007	-0.028	-0.051	-0.007	-0.041	-0.059	-0.022	-0.062
48	-0.007	-0.004	-0.028	-0.018	-0.004	-0.021	-0.050	-0.010	-0.039	-0.058	-0.023	-0.058
49	-0.005	-0.015	-0.021	-0.025	0.000	-0.016	-0.035	-0.005	-0.026	-0.041	-0.015	-0.043
50	-0.006	-0.010	-0.016	-0.020	-0.002	-0.006	-0.022	-0.002	-0.028	-0.030	-0.016	-0.036
71	0.001	0.004	0.012	0.031	0.015	0.020	0.036	0.015	0.026	0.053	0.022	0.042
72	0.004	0.006	0.001	0.010	0.000	-0.001	0.006	-0.007	-0.004	0.003	-0.009	-0.002
73	0.015	0.005	0.011	0.026	0.006	0.010	0.021	-0.001	0.012	0.025	0.007	0.015
74	0.002	0.003	0.006	0.015	0.000	0.000	0.006	-0.004	0.032	0.045	0.025	0.034
77	0.002	0.002	0.005	0.026	0.004	0.009	0.019	0.011	0.012	0.026	0.002	0.009
78	0.003	0.007	0.015	0.032	0.011	0.017	0.033	0.008	0.024	0.041	0.013	0.023
79	0.001	0.001	0.003	0.014	0.001	0.005	0.015	0.002	0.010	0.020	0.002	0.006
80	0.002	0.006	0.004	0.012	0.004	0.007	0.009	0.003	0.005	0.012	-0.002	0.002
81	0.007	0.008	0.008	0.019	-0.004	0.007	0.009	-0.007	0.010	0.017	0.001	0.010
82	0.003	0.009	0.022	0.038	0.010	0.021	0.041	0.012	0.028	0.049	0.015	0.033
83	0.012	0.014	0.021	0.035	0.006	0.011	0.036	0.006	0.021	0.038	0.005	0.023
84	-0.003	0.008	0.011	0.027	0.000	0.005	0.025	0.001	0.012	0.031	0.003	0.011
87	0.010	0.009	0.020	0.034	0.008	0.020	0.034	0.003	0.022	0.039	0.007	0.020
88	0.007	0.010	0.018	0.035	0.005	0.020	0.037	0.005	0.021	0.039	0.008	0.025
89	0.007	0.009	0.018	0.039	0.010	0.020	0.042	0.010	0.028	0.058	0.011	0.037
90	0.008	0.008	0.006	0.017	0.000	0.014	0.010	0.007	0.007	0.017	0.003	0.008

● 10000 Lastwechsel ■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 4.8b

BALKEN E3 , LAENGENAENDERUNG
MESSUNG MIT SFTZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GESAMTLAST (KN)	80.0	0.0	0.0	36.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0	150.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L (MM)											
1	0.019	-0.002	-0.002	0.006	0.019	0.017	0.026	0.031	0.029	0.031	0.037	0.043
2	0.032	0.006	0.006	0.018	0.035	0.035	0.041	0.047	0.048	0.053	0.060	0.068
3	0.069	0.025	0.025	0.049	0.075	0.078	0.084	0.093	0.095	0.103	0.109	0.120
4	0.026	0.003	0.003	0.016	0.031	0.033	0.034	0.042	0.041	0.046	0.049	0.056
7	0.022	-0.002	-0.002	0.009	0.023	0.026	0.032	0.035	0.036	0.041	0.042	0.054
8	0.057	0.009	0.009	0.032	0.060	0.029	0.085	0.088	0.091	0.102	0.110	0.127
9	0.014	0.003	0.003	0.018	0.031	0.031	0.037	0.044	0.039	0.046	0.054	0.055
10	0.023	0.001	0.001	0.012	0.020	0.023	0.026	0.031	0.032	0.035	0.038	0.046
11	0.008	-0.005	-0.005	0.002	0.010	0.011	0.015	0.014	0.021	0.025	0.031	0.039
12	0.000	-0.009	-0.009	-0.001	0.005	0.004	0.004	0.002	0.004	0.003	0.005	0.010
13	0.029	0.004	0.004	0.016	0.032	0.031	0.035	0.027	0.035	0.039	0.043	0.049
14	-0.002	-0.011	-0.011	-0.001	0.009	0.008	0.011	0.007	0.012	0.012	0.015	0.018
17	0.010	-0.005	-0.005	0.002	0.017	0.005	0.017	0.018	0.006	0.017	0.001	0.020
18	0.030	-0.001	-0.001	0.016	0.034	0.034	0.043	0.050	0.056	0.056	0.066	0.075
19	0.049	0.000	0.001	0.005	0.016	0.019	0.021	0.024	0.026	-0.027	0.029	0.031
20	0.023	0.003	0.003	0.016	-0.028	0.030	0.035	0.037	0.039	0.044	0.048	0.055
41	-0.047	-0.027	-0.027	-0.040	-0.045	-0.051	-0.053	-0.057	-0.064	-0.068	-0.070	-0.073
42	-0.060	-0.033	-0.033	-0.040	-0.058	-0.065	-0.069	-0.072	-0.081	-0.084	-0.091	-0.092
43	-0.075	-0.033	-0.043	-0.056	-0.075	-0.083	-0.089	-0.095	-0.105	-0.110	-0.118	-0.123
44	-0.083	-0.047	-0.047	-0.063	-0.085	-0.093	-0.098	-0.106	-0.116	-0.122	-0.132	-0.140
45	-0.077	-0.038	-0.038	-0.045	-0.071	-0.076	-0.084	-0.089	-0.098	-0.106	-0.087	-0.123
46	-0.077	-0.041	-0.041	-0.050	-0.071	-0.079	-0.088	-0.094	-0.106	-0.116	-0.120	-0.127
47	-0.079	-0.042	-0.042	-0.058	-0.076	-0.087	-0.093	-0.099	-0.109	-0.118	-0.124	-0.127
48	-0.077	-0.042	-0.042	-0.058	-0.081	-0.086	-0.093	-0.098	-0.109	-0.112	-0.121	-0.125
49	-0.056	-0.030	-0.030	-0.038	-0.053	-0.064	-0.068	-0.073	-0.080	-0.083	-0.097	-0.094
50	-0.042	-0.029	-0.029	-0.032	-0.047	-0.055	-0.053	-0.056	-0.067	-0.070	-0.070	-0.069
71	0.050	0.024	0.024	0.033	0.057	0.056	0.064	0.069	0.076	0.080	0.088	0.102
72	-0.003	-0.014	-0.014	-0.008	-0.004	-0.006	-0.002	0.000	0.001	0.000	0.009	0.005
73	0.027	0.003	0.003	0.017	0.029	0.031	0.032	0.040	0.040	0.032	0.040	0.048
74	0.030	0.023	0.023	0.032	0.035	0.033	0.050	0.054	0.055	0.057	0.054	0.065
77	0.011	-0.003	-0.003	0.008	0.021	0.024	0.027	0.046	0.030	0.036	0.040	0.053
78	0.038	0.009	0.009	0.025	0.043	0.036	0.050	0.048	0.061	0.073	0.078	0.088
79	0.051	-0.001	-0.001	0.006	0.017	0.017	0.022	0.023	0.023	0.024	0.025	0.030
80	0.006	-0.007	-0.007	0.000	0.005	0.006	0.011	0.014	0.011	0.014	0.017	0.021
81	0.018	0.002	0.002	0.004	0.020	0.021	0.027	0.026	0.024	0.026	0.031	0.034
82	0.050	0.013	0.013	0.030	0.052	0.057	0.064	0.067	0.071	0.077	0.082	0.089
83	0.041	0.009	0.009	0.024	0.045	0.048	0.055	0.061	0.067	0.073	0.082	0.090
84	0.037	-0.007	-0.007	0.009	0.019	0.036	0.046	0.029	0.050	0.057	0.055	0.065
87	0.040	0.003	0.003	0.020	0.043	0.043	0.050	0.056	0.055	0.010	0.068	0.075
88	0.043	0.003	0.003	0.023	0.045	0.046	0.054	0.067	0.060	0.067	0.070	0.074
89	0.059	0.015	0.015	0.032	0.063	0.064	0.074	0.083	0.084	0.079	0.069	0.115
90	0.014	0.002	0.002	0.006	0.013	0.014	0.017	0.020	0.020	0.018	0.022	0.025

▲ 50000 Lastwechsel

TABELLE 4.8c

BALKEN E3 , LAENGENAFENDERUNG
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 10CM

LASTSTUFE	25	26	27	28	29
GESAMTLAST (KN)	100.0	170.0	180.0	190.0	200.0
MESSTELLEN-NR	DELTA L [MM]				
1	0.043	0.050	0.057	0.054	0.000
2	0.072	0.079	0.088	0.092	0.000
3	0.123	0.131	0.141	0.147	0.000
4	0.058	0.060	0.068	0.068	0.000
7	0.055	0.060	0.065	0.067	0.000
8	0.130	0.144	0.140	0.145	0.000
9	0.063	0.070	0.075	0.109	0.000
10	0.044	0.052	0.057	0.064	0.000
11	0.040	0.048	0.052	0.055	0.000
12	0.004	0.007	0.010	0.012	0.000
13	0.041	0.050	0.054	0.055	0.000
14	0.009	0.014	0.014	0.015	0.000
17	0.024	0.031	0.032	0.033	0.000
18	0.073	0.076	0.082	0.085	0.000
19	0.031	0.034	0.035	0.037	0.000
20	0.056	0.063	0.074	0.079	0.000
41	-0.082	-0.082	-0.082	-0.088	0.000
42	-0.103	-0.105	-0.107	-0.118	0.000
43	-0.133	-0.139	-0.144	-0.153	0.000
44	-0.150	-0.155	-0.164	-0.178	0.000
45	-0.134	-0.139	-0.147	-0.161	0.000
46	-0.135	-0.144	-0.154	-0.165	0.000
47	-0.145	-0.150	-0.166	-0.169	0.000
48	-0.136	-0.138	-0.148	-0.151	0.000
49	-0.104	-0.106	-0.106	-0.120	0.000
50	-0.079	-0.080	-0.083	-0.087	0.000
71	0.106	0.118	0.133	0.138	0.000
72	0.004	0.011	0.014	0.021	0.000
73	0.048	0.052	0.051	0.050	0.000
74	0.016	0.068	0.076	0.074	0.000
77	0.055	0.064	0.073	0.076	0.000
78	0.093	0.099	0.111	0.111	0.000
79	0.029	0.030	0.032	0.025	0.000
80	0.022	0.031	0.040	0.041	0.000
81	0.036	0.049	0.054	0.057	0.000
82	0.092	0.097	0.106	0.109	0.000
83	0.096	0.106	0.116	0.122	0.000
84	0.072	0.079	0.080	0.083	0.000
87	0.074	0.082	0.090	0.093	0.000
88	0.079	0.085	0.091	0.090	0.000
89	0.121	0.135	0.157	0.154	0.000
90	0.024	0.026	0.038	0.033	0.000

TABELLE 4.9

BALKEN E0 , DURCHBIEGUNGEN
MESSUNG MIT MESSUHREN

LASTSTUFE	1	2	3
GESAMTLAST [KN]	18.6	71.5	114.4
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]		
1	0.000	-0.001	-0.001
2	-0.005	-0.013	-0.025
3	-0.003	-0.012	-0.027
4	-0.001	-0.010	-0.018
5	0.000	-0.011	-0.020
6	0.000	0.000	-0.001
11	-0.100	-0.190	-0.240
12	-0.080	-0.150	-0.200
13	-0.040	-0.070	-0.090
14	-0.070	-0.100	-0.130
15	0.580	1.690	3.050
16	0.560	1.670	3.040

TABELLE 4.10a

BALKEN E1 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	18.0	36.0	54.0	72.0	0.0	80.0	36.0	0.0	0.0	36.0	80.0	0.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]											
1	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001●	-0.001	-0.001	-0.001■	-0.001
2	0.004	0.006	0.008	0.001	0.008	0.004	0.001	0.001	0.001	0.003	0.009	0.002
3	0.000	0.004	0.006	0.010	0.000	0.011	0.006	-0.001	-0.001	0.002	0.009	0.000
4	0.001	0.004	0.007	0.010	0.001	0.012	0.008	0.002	0.001	0.004	0.011	0.002
5	0.002	0.004	0.007	0.009	0.000	0.008	0.004	-0.001	0.001	0.003	0.009	0.002
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.005	0.006
11	-0.010	-0.035	-0.055	-0.090	-0.015	-0.090	-0.070	-0.015	-0.020	-0.045	-0.085	-0.025
12	0.000	-0.005	-0.010	-0.010	0.000	-0.015	-0.010	0.000	0.010	0.000	-0.010	0.005
13	-0.005	-0.015	-0.025	-0.030	0.000	-0.040	-0.030	-0.050	-0.005	-0.015	-0.030	-0.010
14	-0.010	-0.025	-0.015	-0.030	-0.025	-0.035	-0.030	-0.010	-0.005	-0.010	-0.030	-0.010
15	0.295	0.660	1.045	1.490	0.180	1.705	0.955	0.230	0.285	0.995	1.845	0.335
16	0.290	0.655	1.045	1.490	0.170	1.710	0.945	0.220	0.280	0.990	1.850	0.320

● 10000 Lastwechsel

■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 4.10b

BALKEN E1 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN

LASTSTUFE	13	14	15	16	17	18	19	20
GESAMTLAST [KN]	36.0	80.0	0.0	36.0	80.0	90.0	100.0	110.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]							
1	-0.001	-0.001▲	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
2	0.004	0.009	0.002	0.004	0.009	0.010	0.012	0.017
3	0.003	0.010	0.000	0.003	0.011	0.013	0.015	0.025
4	0.004	0.011	0.000	0.003	0.010	0.011	0.013	0.017
5	0.004	0.009	0.006	0.006	0.009	0.011	0.013	0.017
6	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
11	-0.045	-0.080	-0.030	-0.045	-0.105	-0.110	-0.125	-0.145
12	0.000	-0.010	0.005	0.000	-0.010	-0.015	-0.015	-0.020
13	-0.010	-0.030	0.000	-0.015	-0.030	-0.040	-0.045	-0.050
14	-0.010	-0.035	-0.005	-0.015	-0.040	-0.045	-0.050	-0.055
15	1.070	1.910	0.365	1.065	1.945	2.150	2.375	2.670
16	1.065	1.910	0.350	1.050	1.935	2.150	2.380	2.670

▲ 50000 Lastwechsel

TABELLE 4.11a

BALKEN E2 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST [KN]	9.0	18.0	27.0	36.0	0.0	18.0	40.0	0.0	0.0	35.5	78.4	0.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]											
1	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	-0.001	● 0.001	0.001	0.001	■ 0.001
2	0.001	0.003	0.005	0.007	0.001	0.004	0.008	0.001	0.006	0.014	0.020	0.007
3	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	-0.003	-0.002	0.002	-0.003
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.000	-0.001	-0.003	-0.002	0.001
5	0.003	0.005	0.007	0.009	0.002	0.006	0.010	0.002	0.010	0.021	0.031	0.013
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
11	-0.120	-0.200	-0.255	-0.280	-0.050	-0.210	-0.300	-0.055	-0.050	-0.290	-0.370	-0.060
12	-0.065	-0.130	-0.165	-0.190	-0.030	-0.140	-0.200	-0.035	-0.060	-0.210	-0.275	-0.060
13	-0.110	-0.180	-0.235	-0.280	-0.055	-0.195	-0.305	-0.050	-0.045	-0.280	-0.430	-0.040
14	-0.160	-0.300	-0.400	-0.470	-0.055	-0.325	-0.495	-0.060	-0.025	-0.460	-0.620	-0.015
15	0.280	0.525	0.760	1.020	0.185	0.650	1.140	0.220	0.770	1.770	2.710	0.875
16	0.250	0.540	0.770	1.020	0.160	0.655	1.140	0.190	0.710	1.735	2.675	0.820

● 10000 Lastwechsel ■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 4.11b

BALKEN E2 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN

LASTSTUFE	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GESAMTLAST [KN]	35.5	78.4	0.0	18.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	80.0	100.0	120.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]											
1	0.001	0.001 ▲	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
2	0.013	0.021	0.007	0.010	0.014	0.016	0.016	0.018	0.019	0.022	0.020	0.028
3	-0.002	0.002	-0.003	-0.003	-0.002	-0.002	-0.001	0.000	0.001	0.004	0.006	0.009
4	-0.002	-0.002	0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	0.001	0.002	0.005
5	0.023	0.033	0.013	0.018	0.025	0.026	0.028	0.028	0.031	0.036	0.041	0.050
6	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003	-0.003	-0.005	-0.005	-0.005	-0.006	-0.006
11	-0.295	-0.380	-0.025	-0.220	-0.305	-0.315	-0.330	-0.340	-0.355	-0.385	-0.405	-0.430
12	-0.220	-0.290	-0.045	-0.065	-0.220	-0.235	-0.250	-0.255	-0.265	-0.290	-0.305	-0.325
13	-0.290	-0.435	0.010	-0.185	-0.310	-0.335	-0.355	-0.370	-0.395	-0.440	-0.475	-0.525
14	-0.460	-0.685	0.045	-0.280	-0.490	-0.520	-0.555	-0.585	-0.620	-0.705	-0.760	-0.835
15	1.830	2.780	0.860	1.395	1.435	2.085	2.205	2.320	2.425	2.855	3.285	3.790
16	1.790	2.745	0.810	1.350	1.910	2.035	2.150	2.270	2.385	2.810	3.245	3.760

▲ 50000 Lastwechsel

TABELLE 4.12a

BALKEN E3 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN

LASTSTUFE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GESAMTLAST (KN)	18.0	36.0	54.0	72.0	0.0	36.0	80.0	0.0	36.0	80.0	0.0	36.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]											
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	● 0.000	0.000	0.000	■ 0.000
2	-0.004	-0.004	-0.001	0.003	-0.001	-0.003	0.004	-0.001	-0.001	0.007	0.000	0.004
3	0.010	0.018	0.022	0.028	0.007	0.019	0.024	0.008	0.022	0.036	0.013	0.027
4	0.012	0.019	0.026	0.003	0.011	0.026	0.038	0.015	0.037	0.049	0.024	0.045
5	-0.006	-0.005	-0.001	0.004	-0.002	-0.005	0.006	-0.003	-0.002	0.010	0.000	0.005
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	-0.275	-0.370	-0.415	-0.455	-0.105	-0.385	-0.460	-0.110	-0.430	-0.490	-0.185	-0.435
12	-0.150	-0.205	-0.240	-0.270	0.000	-0.185	-0.280	0.005	-0.180	-0.275	0.005	-0.180
13	-0.035	-0.045	-0.055	-0.060	0.005	-0.035	-0.060	0.010	-0.025	-0.050	0.030	-0.010
14	-0.620	-0.790	-0.865	-0.915	-0.230	-0.810	-0.940	-0.260	-0.825	-0.935	-0.360	-0.865
15	0.585	1.065	1.585	2.130	0.425	1.350	2.425	0.545	1.835	2.875	0.920	2.365
16	0.640	1.180	1.720	2.280	0.470	1.860	2.585	0.575	1.955	3.025	0.950	2.420

● 10000 Lastwechsel ■ 40000 Lastwechsel

TABELLE 4.12b

BALKEN E3 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHREN

LASTSTUFE	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GESAMTLAST [KN]	80.0	0.0	0.0	36.0	80.0	90.0	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0	150.0
MESSUHREN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]											
1	0.000	0.000	▲ 0.001	0.001	0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
2	0.010	0.003	0.003	0.004	0.010	0.014	0.016	0.019	0.023	0.027	0.030	0.033
3	0.039	0.018	0.017	0.024	0.036	0.042	0.046	0.048	0.054	0.059	0.063	0.067
4	0.055	0.033	0.035	0.044	0.056	0.059	0.062	0.069	0.074	0.082	0.086	0.087
5	0.016	0.004	0.004	0.003	0.014	0.020	0.026	0.028	0.037	0.043	0.050	0.058
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
11	-0.490	-0.210	-0.180	-0.415	-0.480	-0.495	-0.505	-0.515	-0.520	-0.530	-0.540	-0.545
12	-0.270	-0.015	0.040	-0.150	-0.255	-0.265	-0.275	-0.290	-0.305	-0.315	-0.320	-0.330
13	-0.040	0.055	0.070	0.005	-0.025	-0.055	-0.055	-0.055	-0.055	-0.055	-0.055	-0.055
14	-0.035	-0.430	-0.390	-0.800	-0.920	-0.940	-0.955	-0.970	-0.985	-0.990	-0.995	-1.005
15	3.275	1.335	1.265	2.230	3.300	3.605	3.890	4.200	4.555	4.940	5.325	5.685
16	3.380	1.350	1.295	2.295	3.400	3.715	4.005	4.335	4.695	5.075	5.470	5.830

▲ 50000 Lastwechsel

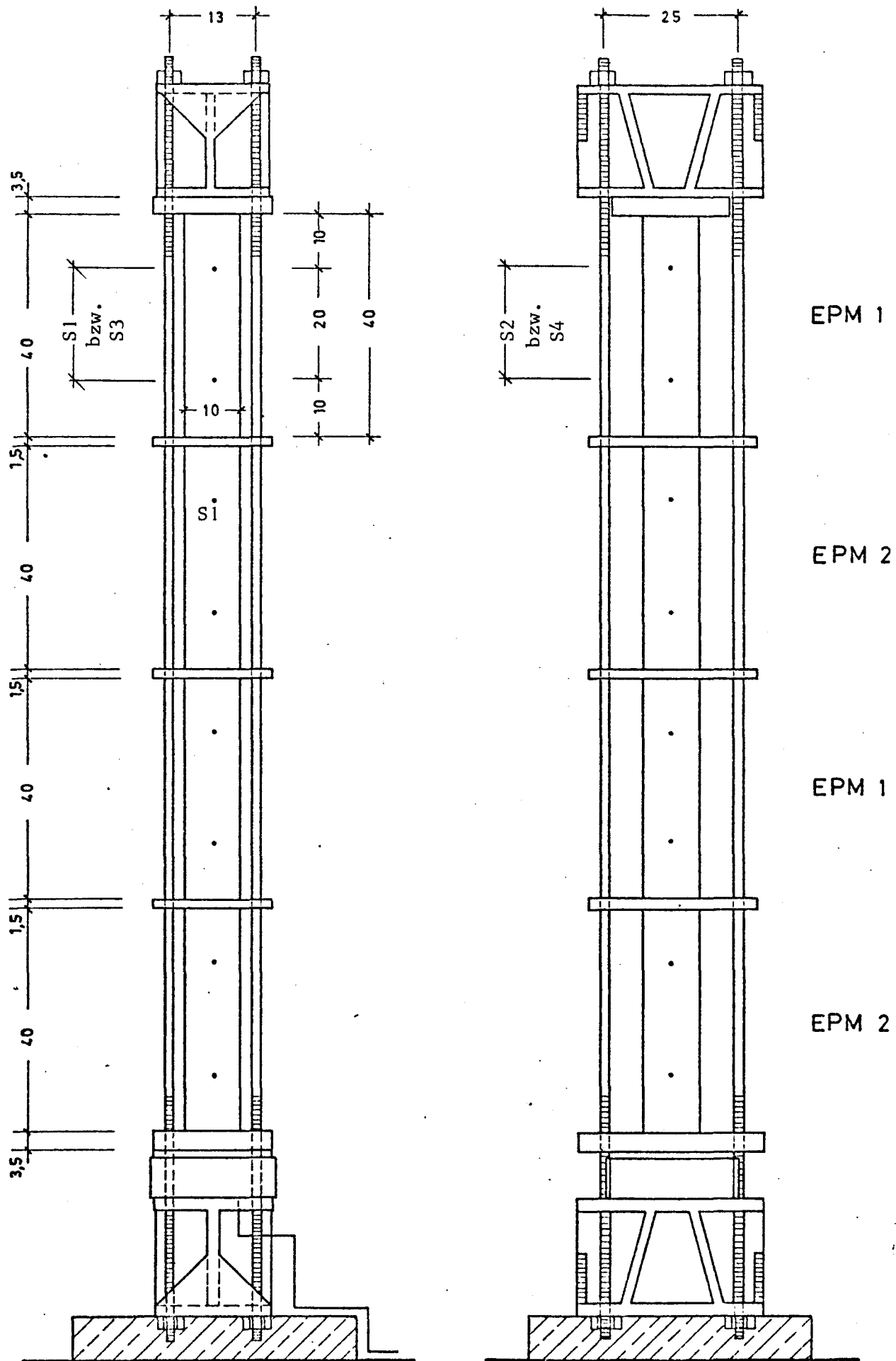
TABELLe 4.12c

BALKEN E3 , DURCHBIEGUNG
MESSUNG MIT MESSUHRN

LASTSTUFE	25	26	27	28
GESAMTLAST [KN]	160.0	170.0	180.0	190.0
MESSUHRN-NR	DURCHBIEGUNG [MM]			
1	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
2	0.033	0.042	0.046	0.054
3	0.071	0.077	0.084	0.097
4	0.091	0.096	0.102	0.115
5	0.068	0.081	0.096	0.122
6	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002
11	-0.555	-0.560	-0.565	-0.570
12	-0.335	-0.340	-0.350	-0.355
13	-0.055	-0.055	-0.055	-0.055
14	1.015	1.020	1.035	1.035
15	6.100	6.525	6.775	7.500
16	6.555	6.685	7.135	7.675

A N L A G E 5 :

KRIECHVERSUCHE



KRIECHSTAND UND MEßSTELLENANORDNUNG

TABELLE 5.1

KRIECHDEHNUNGEN AN EPMI -PRISMEN (10/10/40 CM)
SIGMA = 10 N/MM2
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 20CM

KOERPER	1					2				
MESSTRECKE	S1	S2	S3	S4	MW	S1	S2	S3	S4	MW
ZEIT	EPSILON IN [0/00]									
4 MIN	0.05	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01
10 MIN	0.05	0.10	0.05	0.05	0.08	0.05	0.05	0.00	0.05	0.04
20 MIN	0.10	0.10	0.20	0.05	0.11	0.05	0.10	0.15	0.10	0.10
40 MIN	0.15	0.15	0.20	0.15	0.16	0.10	0.15	0.20	0.15	0.15
60 MIN	0.25	0.20	0.25	0.10	0.20	0.15	0.10	0.20	0.15	0.15
2 STD	0.25	0.25	0.30	0.20	0.25	0.20	0.20	0.30	0.25	0.24
3.5 STD	0.30	0.30	0.40	0.25	0.31	0.25	0.25	0.30	0.30	0.28
4.5 STD	0.35	0.35	0.45	0.30	0.36	0.30	0.30	0.35	0.35	0.33
20 STD	0.60	0.65	0.80	0.60	0.66	0.65	0.55	0.70	0.65	0.64
1 TAG	0.65	0.65	0.90	0.65	0.71	0.60	0.60	0.75	0.70	0.69
2 TAGE	0.80	0.80	1.05	0.80	0.86	0.80	0.80	0.75	0.90	0.76
4 TAGE	1.00	1.00	1.25	0.90	1.04	0.95	0.95	1.05	1.10	1.01
5 TAGE	1.00	1.05	1.30	0.95	1.05	1.00	1.05	1.15	1.10	1.08
6 TAGE	1.05	1.15	1.35	1.10	1.16	1.05	1.10	1.15	1.10	1.05
7 TAGE	1.05	1.10	1.35	1.00	1.12	1.00	1.05	1.10	1.10	1.06
8 TAGE	1.10	1.20	1.50	1.10	1.23	0.90	0.90	1.00	1.05	0.96
11 TAGE	1.15	1.20	1.50	1.15	1.25	1.00	1.05	1.15	1.10	1.13
12 TAGE	1.20	1.25	1.55	1.15	1.29	1.05	1.10	1.15	1.10	1.10
13 TAGE	1.20	1.30	1.55	1.20	1.31	1.00	1.05	1.10	1.10	1.06
14 TAGE	1.20	1.30	1.60	1.25	1.34	1.25	1.30	1.40	1.35	1.33
22 TAGE	1.25	1.35	1.65	1.30	1.39	1.30	1.25	1.40	1.35	1.33
25 TAGE	1.25	1.35	1.65	1.30	1.39	1.30	1.35	1.40	1.35	1.35
29 TAGE	1.30	1.40	1.65	1.40	1.41	1.35	1.35	1.50	1.40	1.40
36 TAGE	1.30	1.45	1.70	1.30	1.44	1.35	1.35	1.50	1.40	1.40
43 TAGE	1.35	1.45	1.70	1.30	1.44	1.35	1.40	1.50	1.45	1.43
49 TAGE	1.40	1.50	1.75	1.35	1.50	1.40	1.40	1.50	1.50	1.55
56 TAGE	1.40	1.50	1.75	1.35	1.50	1.40	1.45	1.55	1.50	1.48
63 TAGE	1.40	1.55	1.80	1.40	1.54	1.45	1.45	1.55	1.55	1.50
70 TAGE	1.40	1.55	1.75	1.40	1.53	1.40	1.50	1.55	1.55	1.50
78 TAGE	1.40	1.55	1.85	1.45	1.56	1.45	1.50	1.60	1.55	1.53
99 TAGE	1.45	1.55	1.90	1.50	1.60	1.50	1.50	1.60	1.60	1.55
113 TAGE	1.55	1.65	1.95	1.55	1.68	1.55	1.55	1.70	1.65	1.61
120 TAGE	1.50	1.65	1.90	1.50	1.64	1.55	1.55	1.55	1.65	1.58
127 TAGE	1.50	1.65	1.90	1.50	1.64	1.55	1.55	1.70	1.65	1.61
134 TAGE	1.60	1.80	1.95	1.60	1.69	1.60	1.65	1.80	1.70	1.69
141 TAGE	1.55	1.70	2.00	1.60	1.71	1.65	1.70	1.85	1.75	1.74
148 TAGE	1.60	1.70	2.00	1.60	1.73	1.60	1.70	1.75	1.75	1.70

TABELLE 5.2

KRIECHDEHNUNGEN AN EPM2 -PRISMEN (10/10/40 CM)
 SIGMA = 10 N/MM2
 MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 20CM

KOERPER MESSTRECKE ZEIT	1					2				
	S1	S2	S3	S4	MW	S1	S2	S3	S4	MW
	EPSILON IN {0/00}									
4 MIN	0.00	0.00	0.00	0.10	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10 MIN	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	0.03
20 MIN	0.00	0.00	0.00	0.10	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01
40 MIN	0.00	0.00	0.00	0.15	0.04	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01
60 MIN	0.00	0.00	0.00	0.10	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01
2 STD	0.00	0.00	0.00	0.10	0.03	0.10	0.00	0.00	0.00	0.03
3.5 STD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.03
4.5 STD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20 STD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01
1 TAG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.05	0.00	0.05	0.05
2 TAGE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.05	0.00	0.05	0.06
4 TAGE	0.05	0.05	0.00	0.00	0.03	0.15	0.05	0.00	0.00	0.05
5 TAGE	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.15	0.10	0.00	0.00	0.06
6 TAGE	0.05	0.05	0.05	0.00	0.04	0.05	0.10	0.05	0.05	0.06
7 TAGE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.05	0.00	0.00	0.04
8 TAGE	0.05	0.05	0.05	0.00	0.03	0.15	0.05	0.00	0.00	0.05
11 TAGE	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.15	0.10	0.00	0.00	0.06
12 TAGE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.15	0.05	0.05	0.08
13 TAGE	0.00	0.05	0.05	0.00	0.03	0.10	0.05	0.00	0.00	0.04
14 TAGE	0.06	0.06	0.01	0.00	0.03	0.21	0.06	0.01	0.01	0.07
22 TAGE	0.06	0.06	0.01	0.01	0.04	0.21	0.06	0.01	0.01	0.07
25 TAGE	0.07	0.07	0.02	0.02	0.05	0.22	0.07	0.07	0.02	0.10
29 TAGE	0.06	0.11	0.01	0.01	0.05	0.21	0.11	0.06	0.01	0.10
36 TAGE	0.06	0.11	0.01	0.01	0.05	0.21	0.11	0.06	0.01	0.10
43 TAGE	0.10	0.10	0.05	0.05	0.08	0.25	0.10	0.05	0.05	0.11
49 TAGE	0.15	0.10	0.10	0.00	0.09	0.25	0.10	0.05	0.05	0.11
56 TAGE	0.15	0.15	0.10	0.00	0.10	0.25	0.15	0.05	0.10	0.14
63 TAGE	0.15	0.15	0.10	0.00	0.10	0.30	0.15	0.05	0.10	0.15
70 TAGE	0.10	0.10	0.00	0.00	0.05	0.30	0.15	0.10	0.05	0.15
78 TAGE	0.15	0.10	0.15	0.15	0.14	0.25	0.15	0.05	0.05	0.13
99 TAGE	0.15	0.10	0.05	0.10	0.10	0.25	0.15	0.05	0.05	0.13
113 TAGE	0.20	0.15	0.10	0.00	0.11	0.25	0.15	0.05	0.15	0.15
120 TAGE	0.20	0.10	0.05	0.05	0.10	0.30	0.15	0.05	0.15	0.16
127 TAGE	0.20	0.15	0.10	0.00	0.11	0.30	0.15	0.05	0.15	0.16
134 TAGE	0.20	0.15	0.10	0.15	0.15	0.35	0.20	0.10	0.15	0.20
141 TAGE	0.20	0.15	0.15	0.15	0.16	0.40	0.20	0.10	0.15	0.21
148 TAGE	0.25	0.20	0.10	0.15	0.18	0.30	0.25	0.10	0.15	0.20

TABELLE 5.3

KRIECHDEHNUNGEN AN EPM1 -PRISMEN (10/10/40 CM)
 SIGMA = 20 N/MM2
 MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 20CM

KOERPER	1					2				
MESSTRECKE	S1	S2	S3	S4	MW	S1	S2	S3	S4	MW
ZEIT	EPSILON IN (0/00)									
4 MIN	0.40	0.20	0.20	0.35	0.29	0.35	0.25	0.20	0.20	0.25
10 MIN	0.70	0.35	0.30	0.50	0.46	0.60	0.40	0.30	0.40	0.43
20 MIN	0.95	0.55	0.40	0.70	0.65	0.80	0.55	0.40	0.55	0.58
30 MIN	1.15	0.65	0.45	0.90	0.79	0.95	0.65	0.50	0.75	0.71
50 MIN	1.45	0.85	0.65	1.20	1.04	1.20	0.85	0.70	0.95	0.93
110 MIN	2.10	1.15	0.90	1.70	1.46	1.65	1.25	1.10	1.35	1.34
200 MIN	2.60	1.50	1.30	2.20	1.90	2.10	1.55	1.35	1.70	1.68
290 MIN	2.70	1.70	1.55	2.55	2.13	2.35	1.80	1.60	1.95	1.93
1 TAG	4.45	2.90	2.45	4.00	3.45	3.90	3.20	2.85	3.25	3.30
2 TAGE	5.05	3.40	3.00	4.60	4.01	4.45	3.80	3.50	3.80	3.89
3 TAGE	5.40	3.70	3.20	4.90	4.30	4.70	4.05	3.75	4.05	4.14
4 TAGE	5.70	3.90	3.50	5.15	4.56	4.90	4.25	3.95	4.25	4.34
5 TAGE	5.85	3.95	3.50	5.25	4.64	5.05	4.35	4.05	4.35	4.45
6 TAGE	5.95	4.05	3.60	5.40	4.75	5.15	4.45	4.15	4.45	4.55
7 TAGE	6.05	4.15	3.75	5.50	4.86	5.25	4.55	4.25	4.55	4.65
8 TAGE	6.20	4.25	3.90	5.60	4.99	5.35	4.65	4.30	4.65	4.74
11 TAGE	6.30	4.35	4.00	5.70	5.09	5.45	4.75	4.45	4.75	4.85
12 TAGE	6.40	4.45	4.15	5.85	5.21	5.60	4.85	4.50	4.85	4.95
13 TAGE	6.50	4.55	4.25	6.00	5.33	5.70	4.95	4.60	5.00	5.06
14 TAGE	6.65	4.65	4.35	6.15	5.45	5.80	5.10	4.70	5.05	5.16
15 TAGE	6.65	4.75	4.45	6.20	5.51	5.90	5.10	4.70	5.10	5.20
25 TAGE	7.15	5.15	4.40	6.30	5.75	5.80	5.65	5.35	5.15	5.49
35 TAGE	7.55	5.50	4.70	6.60	6.09	6.05	6.30	5.80	5.45	5.90
42 TAGE	7.85	5.75	4.90	6.80	6.33	6.25	6.30	6.10	5.65	6.08
49 TAGE	8.05	5.90	4.95	6.90	6.45	6.35	6.50	6.25	5.75	6.21
57 TAGE	8.20	6.05	5.10	7.10	6.61	6.45	6.60	6.45	5.80	6.33
78 TAGE	8.60	6.35	5.30	7.40	6.91	6.65	6.90	6.80	6.15	6.63
92 TAGE	8.75	6.50	5.35	7.50	7.03	6.75	7.05	6.90	6.20	6.73
99 TAGE	8.80	6.55	5.45	7.55	7.09	6.80	7.10	6.95	6.30	6.79
106 TAGE	8.80	6.55	5.45	7.55	7.09	6.80	7.10	6.95	6.30	6.79
113 TAGE	9.05	6.75	5.55	7.75	7.28	6.90	7.25	7.15	6.40	6.93
120 TAGE	9.15	6.85	5.60	7.85	7.36	7.00	7.35	7.30	6.50	7.04
127 TAGE	9.20	6.90	5.70	7.95	7.44	7.05	7.50	7.35	6.60	7.13

TABELLE 5.4

KRIECHDEHNUNGEN AN EPM2 -PRISMEN (10/10/40 CM)
SIGMA = 20 N/MM²
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 20CM

KOERPER	1					2				
MESSTRECKE	S1	S2	S3	S4	MW	S1	S2	S3	S4	MW
ZEIT	EPSILON IN (0/00)									
4 MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01
10 MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01
20 MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01
30 MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01
50 MIN	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01
110 MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01
200 MIN	0.00	0.05	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01
290 MIN	0.00	0.05	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.10	0.05	0.04
1 TAG	0.00	0.10	0.15	0.00	0.06	0.00	0.05	0.15	0.05	0.06
2 TAGE	0.00	0.10	0.15	0.00	0.06	0.00	0.05	0.15	0.05	0.06
3 TAGE	0.00	0.10	0.20	0.05	0.09	0.00	0.05	0.15	0.05	0.06
4 TAGE	0.00	0.15	0.20	0.05	0.10	0.05	0.05	0.15	0.10	0.09
5 TAGE	0.00	0.20	0.30	0.10	0.15	0.05	0.10	0.25	0.15	0.14
6 TAGE	0.00	0.20	0.30	0.05	0.14	0.05	0.10	0.25	0.15	0.14
7 TAGE	0.00	0.20	0.30	0.10	0.15	0.05	0.10	0.25	0.15	0.14
8 TAGE	0.00	0.25	0.35	0.15	0.19	0.10	0.15	0.30	0.20	0.19
11 TAGE	0.00	0.25	0.35	0.15	0.19	0.10	0.15	0.30	0.20	0.19
12 TAGE	0.00	0.25	0.35	0.15	0.19	0.15	0.15	0.35	0.20	0.21
13 TAGE	0.05	0.30	0.35	0.20	0.23	0.15	0.20	0.35	0.25	0.24
14 TAGE	0.01	0.26	0.36	0.16	0.20	0.16	0.16	0.36	0.21	0.22
15 TAGE	0.01	0.26	0.36	0.21	0.21	0.16	0.26	0.36	0.26	0.26
25 TAGE	0.07	0.52	0.47	0.12	0.30	0.17	0.37	0.42	0.17	0.28
35 TAGE	0.11	0.56	0.51	0.21	0.35	0.21	0.36	0.41	0.25	0.30
42 TAGE	0.15	0.65	0.60	0.25	0.41	0.30	0.45	0.50	0.25	0.38
49 TAGE	0.20	0.65	0.60	0.20	0.41	0.30	0.45	0.50	0.25	0.38
57 TAGE	0.15	0.65	0.65	0.25	0.43	0.30	0.50	0.55	0.30	0.41
78 TAGE	0.20	0.70	0.70	0.30	0.48	0.30	0.55	0.55	0.30	0.43
92 TAGE	0.25	0.70	0.70	0.25	0.48	0.35	0.55	0.55	0.25	0.53
99 TAGE	0.20	0.70	0.70	0.20	0.45	0.45	0.55	0.55	0.25	0.45
106 TAGE	0.20	0.70	0.70	0.25	0.46	0.50	0.55	0.55	0.30	0.48
113 TAGE	0.25	0.75	0.70	0.25	0.49	0.55	0.55	0.60	0.35	0.51
120 TAGE	0.30	0.75	0.75	0.30	0.53	0.55	0.60	0.60	0.35	0.53
127 TAGE	0.30	0.75	0.75	0.45	0.56	0.60	0.60	0.65	0.40	0.56

TABELLE 5.5

RUECKKRIECHEN DER EPM1 -PRISMEN (10/10/40 CM)
NACH ENTLASTUNG VON $\sigma = 10 \text{ N/MM}^2$
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER $L = 20 \text{ CM}$

KOERPER	1					2				
MESSTRECKE	S1	S2	S3	S4	MW	S1	S2	S3	S4	MW
ZEIT	EPSILON IN [0/00]									
3 MIN	0.10	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.06
5 MIN	0.00	0.00	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.10	0.05	0.06
10 MIN	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.05	0.00	0.05	0.05	0.04
30 MIN	0.00	0.05	0.05	0.00	0.03	0.05	0.05	0.10	0.05	0.06
1 STD	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.08
3 STD	0.00	0.05	0.05	0.00	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
6 STD	0.05	0.05	0.10	0.05	0.06	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
1 TAG	0.10	0.10	0.15	0.10	0.11	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
2 TAGE	0.10	0.15	0.20	0.10	0.14	0.20	0.15	0.10	0.15	0.15
3 TAGE	0.15	0.15	0.20	0.15	0.16	0.20	0.20	0.10	0.20	0.18
5 TAGE	0.15	0.20	0.30	0.20	0.20	0.20	0.25	0.10	0.20	0.19
13 TAGE	0.20	0.25	0.35	0.25	0.26	0.25	0.35	0.25	0.30	0.20
27 TAGE	0.30	0.30	0.45	0.35	0.35	0.40	0.40	0.30	0.40	0.38
51 TAGE	0.40	0.45	0.55	0.45	0.46	0.60	0.50	0.45	0.50	0.51
58 TAGE	0.40	0.45	0.55	0.45	0.46	0.65	0.50	0.30	0.50	0.49
65 TAGE	0.45	0.45	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
72 TAGE	0.60	0.60	0.70	0.60	0.63	0.65	0.60	0.65	0.65	0.64
82 TAGE	0.50	0.50	0.60	0.50	0.53	0.55	0.55	0.75	0.55	0.60
89 TAGE	0.50	0.50	0.60	0.45	0.51	0.55	0.55	0.45	0.55	0.53
120 TAGE	0.55	0.60	0.70	0.65	0.63	0.55	0.55	0.70	0.60	0.60
152 TAGE	0.50	0.55	0.65	0.50	0.54	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
246 TAGE	0.55	0.60	0.65	0.50	0.58	0.55	0.60	0.55	0.60	0.58

TABELLE 5.6

RUECKKRIECHEN DER EPM2 -PRISMEN (10/10/40 CM)
NACH ENTLASTUNG VON SIGMA = 10 N/MM2
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 20CM

KOERPER	1					2				
MESSTRECKE	S1	S2	S3	S4	MW	S1	S2	S3	S4	MW
ZEIT	EPSILON IN [0/00]									
3 MIN	0.00	0.05	0.05	0.00	0.03	0.05	0.00	0.05	0.00	0.03
5 MIN	0.00	0.00	0.15	0.00	0.04	0.05	0.00	0.05	0.05	0.04
10 MIN	0.05	0.00	0.10	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01
30 MIN	0.05	0.05	0.10	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05	0.03
1 STD	0.05	0.05	0.15	0.05	0.08	0.05	0.00	0.05	0.05	0.04
3 STD	0.05	0.00	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6 STD	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05	0.03
1 TAG	0.00	0.05	0.10	0.10	0.06	0.05	0.00	0.05	0.05	0.04
2 TAGE	0.05	0.05	0.10	0.05	0.06	0.05	0.00	0.00	0.05	0.03
3 TAGE	0.05	0.05	0.15	0.10	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01
5 TAGE	0.05	0.05	0.15	0.10	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01
13 TAGE	0.05	0.05	0.15	0.10	0.09	0.10	0.00	0.05	0.05	0.05
27 TAGE	0.10	0.05	0.15	0.20	0.13	0.10	0.00	0.05	0.05	0.05
51 TAGE	0.10	0.10	0.20	0.20	0.15	0.10	0.00	0.05	0.05	0.05
58 TAGE	0.10	0.05	0.15	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.00	0.05
65 TAGE	0.10	0.10	0.15	0.10	0.11	0.10	0.05	0.10	0.00	0.06
72 TAGE	0.15	0.20	0.25	0.15	0.16	0.20	0.15	0.20	0.05	0.15
82 TAGE	0.10	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15	0.00	0.05	0.10	0.08
89 TAGE	0.05	0.10	0.10	0.15	0.10	0.05	0.00	0.10	0.00	0.04
120 TAGE	0.15	0.05	0.15	0.20	0.14	0.15	0.10	0.00	0.00	0.06
152 TAGE	0.05	0.05	0.20	0.00	0.08	0.10	0.00	0.05	0.00	0.04
246 TAGE	0.10	0.10	0.15	0.00	0.09	0.10	0.00	0.05	0.00	0.04

TABELLE 5.7

RUECKKRIECHEN DER EPM1 -PRISMEN (10/10/40 CM)
NACH ENTLASTUNG VON SIGMA = 20 N/MM2
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 20CM

KOERPER	1					2				
MESSTRECKE	S1	S2	S3	S4	MW	S1	S2	S3	S4	MW
ZEIT	EPSILON IN [0/00]									
3 MIN	0.05	0.05	0.10	0.05	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01
5 MIN	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.00	0.10	0.00	0.04
10 MIN	0.10	0.10	0.10	0.05	0.09	0.05	0.00	0.05	0.00	0.03
30 MIN	0.20	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.10	0.14
1 STD	0.40	0.25	0.20	0.20	0.26	0.20	0.20	0.25	0.15	0.20
3 STD	0.65	0.35	0.25	0.40	0.41	0.35	0.35	0.40	0.30	0.35
6 STD	0.80	0.45	0.35	0.50	0.53	0.45	0.45	0.50	0.40	0.45
1 TAG	1.02	0.80	0.65	0.95	0.90	0.85	0.90	0.90	0.75	0.85
2 TAGE	1.65	1.00	0.75	1.30	1.18	1.10	1.15	1.15	0.95	1.09
6 TAGE	2.10	1.45	1.00	1.80	1.59	1.50	1.65	1.60	1.35	1.53
8 TAGE	2.30	1.65	1.10	1.95	1.75	1.65	1.80	1.75	1.45	1.66
12 TAGE	2.55	1.75	1.25	2.20	1.94	1.90	2.10	1.95	1.65	1.90
19 TAGE	2.90	2.00	1.60	2.45	2.24	2.10	2.25	2.16	1.85	2.09
30 TAGE	3.25	2.25	1.90	2.70	2.53	2.40	2.55	2.40	2.10	2.36
37 TAGE	3.40	2.35	1.95	2.80	2.63	2.50	2.55	2.45	2.20	2.43
44 TAGE	3.50	2.45	2.25	2.90	2.78	2.60	2.70	2.55	2.30	2.54
51 TAGE	3.70	2.65	2.20	3.05	2.90	2.75	2.85	2.70	2.45	2.69
61 TAGE	3.70	2.60	2.15	3.10	2.89	2.75	2.90	2.70	2.45	2.70
68 TAGE	3.70	2.65	2.15	3.10	2.90	2.80	2.90	2.75	2.50	2.74
99 TAGE	4.00	2.90	2.40	3.45	3.19	3.05	3.10	3.00	2.65	2.95
131 TAGE	4.10	2.95	2.50	3.45	3.25	3.10	3.25	3.05	2.75	3.04
226 TAGE	4.40	3.20	2.65	3.65	3.48	3.35	3.50	3.30	2.95	3.28

TABELLE 5.8

RUECKKRIECHEN DER EPM2 -PRISMEN (10/10/40 CM)
NACH ENTLASTUNG VON SIGMA = 20 N/MM²
MESSUNG MIT SETZDEHNUNGSMESSER L = 20CM

KOERPER MESSTRECKE ZEIT	1					2				
	S1	S2	S3	S4	MW	S1	S2	S3	S4	MW
	EPSILON IN [0/00]									
3 MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05	0.03
5 MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.05	0.10	0.05
10 MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.03
30 MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.05	0.05	0.04
1 STD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3 STD	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.05	0.05	0.10	0.10	0.08
6 STD	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.05	0.05	0.10	0.10	0.08
1 TAG	0.05	0.05	0.10	0.05	0.06	0.10	0.10	0.10	0.15	0.11
2 TAGE	0.05	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.15	0.11
6 TAGE	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
8 TAGE	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
12 TAGE	0.10	0.10	0.15	0.10	0.11	0.15	0.20	0.20	0.20	0.19
19 TAGE	0.10	0.10	0.20	0.10	0.13	0.10	0.20	0.15	0.15	0.15
30 TAGE	0.15	0.15	0.20	0.05	0.14	0.20	0.20	0.20	0.25	0.21
37 TAGE	0.15	0.15	0.20	0.15	0.16	0.20	0.20	0.20	0.25	0.21
44 TAGE	0.15	0.15	0.20	0.15	0.16	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
51 TAGE	0.15	0.25	0.30	0.20	0.23	0.25	0.30	0.25	0.30	0.28
61 TAGE	0.15	0.20	0.25	0.15	0.19	0.20	0.20	0.20	0.25	0.21
68 TAGE	0.15	0.20	0.20	0.15	0.18	0.20	0.25	0.25	0.20	0.23
99 TAGE	0.15	0.15	0.30	0.15	0.19	0.15	0.20	0.15	0.25	0.19
131 TAGE	0.15	0.20	0.15	0.15	0.16	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
226 TAGE	0.15	0.20	0.20	0.10	0.16	0.20	0.20	0.25	0.25	0.23

K U R Z F A S S U N G des Berichtes zum
Forschungsvorhaben F.A. 15.026 R 75 H :

Kordina, K., Blume, F.

Dauerhaftigkeit von Kunstharzen und Kunstharzmörteln für die Sanierung
von Massivbrücken

Berichtet wird über Versuche an einem durch Reaktionsharzverpressung unter Gebrauchslast sanierten Spannbetonbalken vor und nach einer neunjährigen Lagerung im Freien. Weiterhin wird ein umfangreiches Versuchsprogramm an acht mit fünf unterschiedlichen Reaktionsharzsystemen verpreßten Spannbetonbalken sowie zwei unversehrten Balken gleicher Bauart beschrieben. Die Versuchskörper wurden zunächst fünfzehn Monate im Freien unter Dauerlast gelagert. Hiernach wurden sie einer Schwellbeanspruchung ausgesetzt und abschließend ihre Traglast bestimmt.

In keinem der Untersuchungsabschnitte konnten signifikante, auf ein Verpreßharz zurückführbare Beeinträchtigungen des Tragverhaltens beobachtet werden. Erst beim Bruchversuch versagten einzelne verpreßte Risse, wobei die Lasten jedoch bereits deutlich über der Gebrauchslast lagen.

Die Dauerhaftigkeit von Betonergänzungen durch Reaktionsharzmörtel wurde an besonderen Probekörpern sowie an durch Reaktionsharzmörteldruckplatten verstärkten Stahlbetonbalken geprüft:

Eine Untersuchung der Auswirkungen von Kontaktfugenrauigkeit, -feuchte und -temperatur auf die Scher- und eine charakteristische Schubdruckfestigkeit zeigte einen z. T. erheblichen Einfluß dieser Parameter. Insbesondere erwiesen sich die hier untersuchten polyesterharzgebundenen Mörtel empfindlich gegenüber Feuchte beim Verkleben sowie gegenüber wechselnden Temperaturen, so daß sie für Ergänzungen von Bauteilen im Freien wenig geeignet erscheinen.

Ein deutlicher Einfluß des Mörtelkriechverhaltens auf das Tragverhalten war bei den Untersuchungen an ergänzten Balken festzustellen. Kriechversuche an Prismen aus den verwendeten Epoxidharzmörteln führten auf wesentliche Unterschiede im Kriechverhalten. Für statisch notwendige Ergänzungen kommen hiernach nicht alle Reaktionsharzmörtel in betracht, sondern nur solche, die betonähnliches Kriechverhalten aufweisen.

Braunschweig, Oktober 1979

33 Braunschweig, 30. 10. 1979

Blu/EF

K U R Z B E R I C H T

zum Forschungsvorhaben

"Dauerhaftigkeit von Kunstharzen und Kunstharzmörteln für die Sanierung von Massivbrücken"

Auftraggeber: Der Bundesminister für Verkehr
5300 Bonn-Bad Godesberg
(Az.: F. A. 15.026 R 75 H)

Ausführende Stelle: Institut für Baustoffe, Massivbau
und Brandschutz der Technischen
Universität Braunschweig

Berichterstatter: Kordina, K. und Blume, F.

Abgeschlossen: Oktober 1979

1. Aufgabenstellung

Die Dauerhaftigkeit der Adhäsionsbindung von Reaktionsharzen (RH) an Zementbeton unter Langzeiteinwirkung von Umwelteinflüssen wie Temperatur- und Feuchtigkeitswechseln sowie von Dauer- und Dauerschwellbeanspruchungen sollte in Versuchen an Balken mit praxisnahen Abmessungen und an speziellen Probekörpern geprüft werden. Es war dabei insbesondere für die Sanierung von Massivbrücken, das Verhalten verpreßter Risse unter Gebrauchsbeanspruchung und das Tragverhalten von Bauteilen mit Ergänzungen aus Reaktionsharzmörteln zu untersuchen.

2. Untersuchungen, Ergebnisse und Folgerungen

2.1 Dauerhaftigkeit von Rißverpressungen

Vor der Durchführung von Versuchen war es notwendig, die grundsätzlichen Anforderungen an Injektionsharze zur Erzielung zufriedenstellender Sanierungserfolge abzuklären. Hierüber wird zunächst berichtet und der

derzeitige Stand der Verpreßtechnologie vorgetragen. Verfahrensabhängige, signifikant unterschiedliche Sanierungserfolge sind bei sachgerechter Ausführung nicht zu erwarten. Sofern deutlich unterschiedliche Sanierungserfolge auftreten, sind sie i.a. auf unzureichende Harzeigenschaften oder mangelnde Sorgfalt beim Verpressen zurückzuführen.

Anschließend wird über Versuche an einem durch RH-Injektion unter Gebrauchslast ($\sigma_{BZ}^{vorh} = \sigma_{BZ}^{zul}$) sanierten Spannbetonbalken vor und nach einer neunjährigen Lagerungsdauer im Freien berichtet. Weder durch Wetter- noch durch Schwellasteinwirkung wurde die Haftung ausgewählter Reaktionsharzsysteme am Beton beeinträchtigt. Meßtechnisch beobachtete Tragverhaltensänderungen im Verlauf der Außenlagerung lassen sich im wesentlichen auf den Einfluß von Kriechen und Schwinden zurückführen. Durch das Verpressen unter Gebrauchslast ergab sich allerdings ein für die Klebefugen vergleichsweise günstiger Beanspruchungszustand, nämlich Dauer-Druckspannungen bei unbelastetem Versuchsbalken.

Weiterhin wird ein umfangreiches Langzeitversuchsprogramm an zehn vorgespannten Rechteckbalken beschrieben, das der weitergehenden Absicherung und Verallgemeinerung der zuvor im Einzelfall erzielten Ergebnisse dienen sollte. In acht dieser Balken wurden planmäßig Risse erzeugt. Danach wurden je zwei Balken mit einem von drei aus dem Marktangebot ausgewählten Epoxidharzsystemen (EP) und je ein Balken mit einem von zwei ausgewählten ungesättigten Polyesterharzsystemen (UP) verpreßt. Die Verpressung der Risse erfolgte hier ohne gleichzeitige Einwirkung der Gebrauchslast, so daß in den Haftpugen auch nach Vorspannung entsprechend der Balkenbeanspruchung Biegezugspannungen zu übertragen waren. Zwei ungerissene Balken dienten zu Vergleichszwecken.

Alle Balken wurden zunächst 15 Monate im Freien unter einer Dauerlast gelagert, die eine Biegezugspannung von ca. 75% des bei beschränkter Vorspannung zulässigen Wertes bewirkte. Anschließend wurden sie einer Schwellast (50.000 Lastwechsel) ausgesetzt, deren Oberlast wiederum so gewählt war, daß ca. 75% des zulässigen Wertes ausgenutzt wurde, während die Unterlast einen Ausnutzungsgrad von ca. 20% der Betonbiegezugfestigkeit hervorrief. Abschließend wurde die Traglast aller Balken bestimmt.

In keinem der Untersuchungsabschnitte konnten signifikante, auf das Verpreßharz zurückzuführende Beeinträchtigungen des Trag- oder Ver-

formungsverhaltens beobachtet werden. Alle Balken verhielten sich weitgehend affin zueinander. Erst beim Bruchversuch versagten einzelne verklebte Risse, wobei die Lasten bereits deutlich über der Gebrauchslast lagen. Durch Rißverpressung sanierte Balken erzielten mehrheitlich höhere Tragfähigkeiten als die Vergleichsbalken.

2.2 Dauerhaftigkeit von Ergänzungen durch Reaktionsharzmörtel

Es wird zunächst über ein Versuchsprogramm an besonderen Probekörpern zur Bestimmung der speziellen Auswirkungen physikalischer Randbedingungen auf die bei Ergänzung mit Reaktionsharzmörteln (RHM) besonders interessierende Schubhaft- und Schubdruckfestigkeit berichtet. Die Versuche wurden zum Teil mit vier unterschiedlichen RHM durchgeführt, von denen zwei ein EP-System und zwei ein UP-System als Bindemittel besaßen. Das Mischungsverhältnis Harz : Zuschlag wurde nach der Verarbeitbarkeit aufgrund von Vorversuchen zu 1 : 10 gewählt. Untersucht wurden die Auswirkungen folgender Parameter:

- Oberflächenbeschaffenheit der Kontaktfuge
- Feuchtegehalt des Betons und
- Temperatureinfluß .

Experimentell wurde nachgewiesen, daß die Haftfestigkeit von Reaktionsharzmörteln auf einer bruchrauen Betonoberfläche größer ist als auf einer durch Sandstrahlen vorbehandelten Fläche, da durch die Sandstrahlung die festigkeitssteigernde Verzahnung zwischen RHM und bruchrauer Betonoberfläche zum Teil aufgehoben wird. Ebenso zeigte sich mit einer Ausnahme eine deutliche Abhängigkeit der Haftfestigkeit vom Feuchtegehalt der Kontaktflächen. Sie ist in der Regel bei mittlerer Feuchte nennenswert niedriger als bei trockener Oberfläche und sinkt bei sehr feuchtem Beton noch weiter ab. Zur Abschätzung des Temperatureinflusses auf die Haftfestigkeit von RHM am Beton wurden Probekörper nach einer siebentägigen Aushärtungsdauer bei 23 °C unter den Temperaturen -10, +23 und +60 °C im Bruchversuch geprüft. Sie wiesen in gleicher Folge abnehmende Festigkeiten auf. Die festzustellenden Festigkeitsunterschiede bei den einzelnen RHM ließen sich dabei nicht auf unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten zurückführen. Bei der Untersuchung des Einflusses periodisch zwischen -20 °C und +40 °C wechselnder Temperaturen zeigte

sich ein verstärkter Festigkeitsabfall bei polyesterharzgebundenen Mörteln. UP-Systeme scheinen demnach für eine Ergänzung von Betonbauteilen, die wechselnden Klimabedingungen ausgesetzt sind, vergleichsweise wenig geeignet zu sein. Alle parameterabhängigen Festigkeitsänderungen sind tabellarisch zusammenfassend dargestellt.

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse von Labor-Probekörpern auf praxisnahe Bauteile wurden hiernach Versuche an Stahlbetonbalken mit einer zur Tragfähigkeitsvergrößerung nachträglich aufgebrachten RHM-Platte durchgeführt. Ein in entsprechender Form monolithisch hergestellter Plattenbalken diente zu Vergleichszwecken. Untersucht wurde der unterschiedliche Einfluß der Kontaktfugenvorbehandlungen "Sandstrahlen" und "Spitzen" auf Tragverhalten und Tragfähigkeit von mit EP-Mörteln ergänzten Balken sowie die Auswirkung einer die Haftpuge übergreifenden, auf den Betonsteg beidseitig aufgeklebten Aufhängebewehrung. Alle ergänzten Balken wurden einheitlich einer Schwellbelastung (100.000 Lastwechsel) mit $F^u \approx 0,6 \cdot F_u$ und $F^o \approx 1,3 \cdot F_u$ ausgesetzt, wobei F_u nach der zuvor experimentell bestimmten Traglast des Vergleichsbalkens angenommen wurde. Abschließend wurde ihre Traglast im Bruchversuch bestimmt.

Alle Balken versagten durch einen Riß im Beton parallel zur Haftpuge. Die unterschiedliche Oberflächenbehandlung der Kontaktflächen vor Aufbringen des RHM hatte danach keine Auswirkungen auf die Tragfähigkeit. Eine Traglastminderung der ergänzten Balken gegenüber dem ohne vorhergehende Schwelllasteinwirkung zu Bruch gefahrenen Vergleichsbalken war nicht oder nur in geringem Maße festzustellen. Sowohl bei den nachträglich ergänzten als auch bei den Vergleichsbalken konnte allerdings nicht die reine Haftfestigkeit wie an den Probekörpern erreicht werden, da in der Haftpuge neben den Schubspannungen zusätzlich Zugspannungen senkrecht zur Fuge auftreten. Eine "Aufhängebewehrung" führte erwartungsgemäß zu einer bedeutsamen Tragfähigkeitssteigerung.

Wie die Auswertung der Randdehnungsmessungen im Bereich der RHM-Platte zeigte, ergaben sich bei einem der beiden zur Ergänzung verwendeten RHM nach Abschluß der Schwellversuche erheblich größere bleibende Randstauchungen. Da bei starker Kriechneigung von RHM u.U. die Gefahr besteht,

daß sich ursprünglich aufgenommene Lastanteile langfristig auf den steiferen angrenzenden Beton umlagern, scheiden solche RHM für statisch erforderliche Querschnittsergänzungen als Sanierungsmaterial aus. Da entsprechende allgemeingültige Erfahrungen z.Zt. noch fehlen, ist vor Verwendung eines RHM demnach stets dessen Kriechverhalten zu prüfen und dem des zu ergänzenden Betons gegenüberzustellen.

Abschließend wird über Kriechversuche an beiden zur Querschnittsergänzung verwendeten RHM berichtet. Erwartungsgemäß wurden erhebliche Unterschiede festgestellt. Im Vergleich zum Kriechverhalten eines hochwertigen Betons B 55 nach DIN 4227 ergaben sich nach einer Belastungsdauer von 100 Tagen bei einer Druckspannung von 20 N/mm^2 für den einen der untersuchten RHM ca. fünffach größere Stauchungen, wonach dieser Mörtel für statisch erforderliche Querschnittsergänzungen mit Sicherheit unbrauchbar ist. Der andere untersuchte RHM wies hingegen geringere Kriechstauchungen als ein Beton B 55 nach DIN 4227 auf, was ihn für eine Sanierungsmaßnahme geeignet erscheinen läßt.

An den
Bundesminister für Verkehr
- STB 14/16.57.00/14 176 I 79 -
Kennedyallee 72

Braunschweig, 29. 10. 1979
493/B1/Schr

5300 Bonn 2

Betr.: FA 15.026 R 75 H
Dauerhaftigkeit von Kunstharzen und Kunstharzmörteln für die
Sanierung von Massivbrücken

Sehr geehrte Damen und Herren,

beiliegend übersende ich Ihnen in je zehnfacher Ausfertigung den Schluß-
bericht und den Kurzbericht zum o. g. Forschungsauftrag sowie in fünf-
facher Ausfertigung eine Kurzfassung des Berichts. Die Meßwerte zu den
durchgeführten Versuchen füge ich in dreifacher Ausfertigung bei.

Wie Sie bereits aus den Zwischenberichten ersahen, wurde mit dem Versuchs-
programm zum Teil von der ursprünglichen Planung abgewichen, da sich bei
der Detailplanung neue Gesichtspunkte ergaben:

So wurde darauf verzichtet, verschiedene Verpreßtechnologie hinsichtlich
ihrer Eignung zu prüfen, da hieraus nach Information bei Fachfirmen sowie nach
eigenen zwischenzeitlich gewonnenen Erfahrungen bei sachgerechter Ausführung
der Verpreßarbeiten keine signifikanten Unterschiede erwartet wurden. Ersatz-
weise wurden verschiedene Reaktionsharzsysteme auf ihre Eignung bei Verwendung
eines einheitlichen Verpreßverfahrens untersucht.

Da die Kosten zur Simulation wechselnder Klimabedingungen für die vergleichs-
weise großen Balken mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht abgedeckt
werden konnten, wurden die Versuchsbalken ersatzweise für 15 Monate natür-

...

lichen Klimabedingungen im Freien ausgesetzt. Um weitergehende Rückschlüsse zu ermöglichen, wurde zusätzlich ein neun Jahre alter, ehemals bereits durch Rißinjektion sanierter Spannbetonbalken neuerlich auf etwaige Tragverhaltensänderungen in einem Versuchsprogramm untersucht.

Kurzzeit- und Langzeitversuche wurden nicht, wie ursprünglich vorgesehen, an ~~unterschiedlichen~~ ^{verschiedenen}, sondern an den gleichen Balken durchgeführt, um hieraus auf Wettereinwirkungen zurückzuführende Tragverhaltensänderungen unmittelbar zu erkennen. Hierdurch konnten an Stelle der ursprünglich geplanten vier Langzeitversuchsbalken nunmehr zehn Balken zunächst im Langzeit- und abschließend im Kurzzeitversuch geprüft werden, so daß die Ergebnisse allgemeinere Schlußfolgerungen zulassen. Der Versuchsumfang wurde hierdurch nicht verkleinert, sondern vergrößert.

Bei den Versuchen an speziellen Probekörpern zur Ermittlung der Scher- und der Schubdruckfestigkeit wurde nach den Ergebnissen an den mit Kunstharz verpreßten Spannbetonbalken sowie an den durch eine Kunstharzmörtelplatte verstärkten schlaff bewehrten Balken darauf verzichtet, auch die Probekörper einer Schwellbeanspruchung zu unterwerfen. Statt dessen wurde zusätzlich die Dauerhaftigkeit der Bindung Kunstharzmörtel/~~Zement~~beton bei diesen Körpern gegenüber wechselnden Temperaturen untersucht sowie das Kriechverhalten der verwendeten EP-Mörtel geprüft.

Auch durch diese Änderung des Versuchsprogramms wurde der Aufwand insgesamt vergrößert.

Mit freundlichen Grüßen